



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta mechatroniky, informatiky
a mezioborových studií



APLIKACE STANDARDU IEEE 802.15.1 V DOHLEDOVÉM SYSTÉMU

APPLICATION OF STANDARD IEEE802.15.1 IN A SURVEILLANCE SYSTEM

Diplomová práce

Studijní program: N2612 – Elektrotechnika a informatika

Studijní obor: 3906T001 – Mechatronika

Autor práce: **Bc. Vojtěch Hlubuček**

Vedoucí práce: doc. Ing. Ivan Doležal, CSc.

Konzultant: Daniel Opatrný



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií
Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Vojtěch Hlubuček**
Osobní číslo: **M12000252**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Mechatronika**
Název tématu: **Aplikace standardu IEEE 802.15.1 v dohledovém systému**
Zadávací katedra: **Ústav mechatroniky a technické informatiky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Nastudujte základy standardu IEEE 802.15.1 (Bluetooth, BT) ve všech aktuálních revizích.
2. Seznamte se s dohledovými systémy pro exteriér a jejich technickými i organizačními prostředky.
3. Vyberte vhodný BT modul, snímače, kameru a servopohony a navrhnete desku pro jejich připojení k mikrořadiči AVR.
4. Naprogramujte řídicí a komunikační firmware.
5. Vytvořte software ovládající demonstrační úlohu: signalizace PIR snímače a stavové informace se odesílají na PC, odkud lze aktivovat přenos videa s natáčením kamery a zapínáním IR přísvitů.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby dokumentace**

Rozsah pracovní zprávy: **40–50 stran**

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

- [1] HEYDON, Robin. Bluetooth low energy: the developer's handbook.
- [2] Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2012, ISBN 978-013-2888-363.
- [3] GRATTON, Dean A. Developing practical wireless applications. Boston: Elsevier Digital Press, c2007, xvii, ISBN 978-155-5583-101.
- [4] Bluetooth [online] <http://www.bluetooth.org>
- [5] Bluetooth 4.0 with low energy technology [online] <http://www.bluetooth.com>
- [6] Bluetooth Low Energy Technology [online] <http://www.connectblue.se>
- [7] Bluetooth [online] <http://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>
- [8] Datasheety perspektivních Bluetooth modulů

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Ivan Doležal, CSc.

Ústav mechatroniky a technické informatiky

Konzultant diplomové práce:

Daniel Opatrný


Aktivní zálohy Armády ČR, Liberec

Datum zadání diplomové práce:


10. října 2014

Termín odevzdání diplomové práce:

15. května 2015


prof. Ing. Václav Kopecký, CSc.
děkan




doc. Ing. Milan Kolář, CSc.
vedoucí ústavu

V Liberci dne 10. října 2014

PROHLÁŠENÍ

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. o právu autorském, zejména §60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultace s vedoucím diplomové práce a s konzultantem.

Současně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí vloženou do IS STAG.

Datum – 15.5.2015

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou bych rád poděkoval panu docentu Ing. Ivanu Doležalovi, CSc. za cenné rady při vedení mé diplomové práce a panu por. Danielovi Opatrnému za jeho čas při konzultacích problematiky zajištění perimetrické ochrany. Firmě ELEKTROPARTNER Jablonec nad Nisou děkuji za poskytnuté sponzorské dary a kolegům z firmy CleanAir za trpělivost a poskytnuté rady. V neposlední řadě bych rád poděkoval své rodině a přátelům, za jejich neocenitelnou morální podporu při tvorbě práce.

ABSTRAKT

Diplomová práce je zaměřena na praktické využití nízkoenergetického standardu IEEE-802.15.1 pro bezdrátovou komunikaci Bluetooth specifikace 4.0 aplikovaného v dohledovém systému. Zařízení slouží ke střežení perimetrické ochrany při mimořádných událostech.

Samotný koncept v pasivním režimu, při optimalizaci senzorických parametrů a použití maximální násobnosti zařízení, zajišťuje sledování prostoru o výměře až 15000 m² po dobu několika týdnů v závislosti na počtu detekcí. V aktivním režimu je dle použité kamery a velikosti akumulátoru doba zkrácena na jednotky hodin.

Vytvořený prototyp dohledového zařízení je schopen v pasivním režimu monitorovat střežený prostor o výměře 250 m² déle než 48 hodin. Ovládací programové vybavení prototypu umožňuje nastavovat tvar senzorického pole, upozornit obsluhu na detekci narušení perimetrické ochrany v daném sektoru a v aktivním režimu manuálně otáčet kamerou v rozsahu 360°.

ABSTRACT

This thesis is focused on the practical use of low-energy standard IEEE 82.15.1. Wireless Bluetooth of specification 4.0 that is applied in a monitoring system. This device is used to guard the perimeter protection in emergencies.

If we optimize the sensory attributes of the concept in passive mode and use the maximum multiplicity of devices, these are able to monitor the space with an area of 15,000 m² for a period of several weeks, depending on the number of detection. This time is reduced to several hours if the device is in an active mode, also according to the type of camera used and the size of the battery.

Created prototype of the monitoring device in a passive mode is able to monitor the premises with an area of 250 m² for more than 48 hours. The prototype also has a control software which allows you to adjust the shape of the sensory field, alert the operator to disruption of the detection perimeter protection in guarded sector and in its active mode it can manually rotate the camera 360 degrees.

KLÍČOVÁ SLOVA

Nízkoenergetické zařízení, IEEE-802.15.1, specifikace Bluetooth 4.0, dohledový systém, IP kamera, servomotory;

KEY WORDS

Low energy technology, IEEE-802.15.1, specification Bluetooth 4.0, surveillance system, IP camera, servomotors;

Obsah

Seznam obrázků	9
Seznam příloh	10
Seznam symbolů a zkratk.....	11
1. Úvod.....	12
1.1 Motivace.....	12
1.2 Cíl práce	12
2. Analýza	14
2.1 Standard IEEE 802.15.1 technologie Bluetooth	14
2.1.1 Historie a vývoj Bluetooth	14
2.1.2 Topologie Bluetooth sítě	16
2.1.3 Architektura Bluetooth	17
2.1.4 Frekvenční pásma	20
2.2 Aktuální specifikace standardu IEEE 802.15.1	21
2.2.1 Bluetooth v.2.1	21
2.2.2 Bluetooth v.4.0	24
2.3 Prvky venkovní obvodové (perimetrické) ochrany.....	27
2.3.1 Infračervené závory a bariéry	27
2.3.2 Ultrazvuková čidla a mikrovlnné bariéry	28
2.3.3 Perimetrická pasivní infračervená čidla (infrateleskopy)	28
3. Hardwarová realizace dohledového zařízení	31
3.1 Mechanická konstrukce	31
3.2 Řídící podsystem	31
3.3 Informační a senzorický podsystem	33
3.3.1 Sensory perimetrické ochrany	33
3.3.2 Senzor teploty	34
3.3.3 Senzor osvětlení	34
3.3.4 Senzor polohy elektromechanického zařízení.....	35
3.3.5 Senzor natočení servopohonu	35
3.4 Napájecí podsystem.....	35
3.4.1 Akumulátor	36
3.4.2 Ochranné napájecí obvody	36
3.4.3 Napájecí obvody	36
3.5 Akční člen	37
3.6 Komunikační řetězec.....	37
3.7 Vizualizační systém.....	39

4. Ovládací software dohledového zařízení	40
4.1 Form Password.....	40
4.2 Form Surveillance system	40
4.3 Form Automatic Mode.....	41
4.4 Form SelfControl	42
5. Experimentální část.....	44
5.1 Dosah komunikačního řetězce	44
5.2 Detekční dosah senzorů perimetrické ochrany	45
5.3 Doba chodu dohledového zařízení	45
Závěry a doporučení.....	46

Seznam obrázků

obr. 2.1 Topologie BT sítě	17
obr. 2.2 Architektura přenosových protokolů standardu BT	18
obr. 2.3 Výkonové třídy BT zařízení	20
obr. 2.4 Porovnání adaptivního přeskokování kmitočtů AFH s FHSS	21
obr. 2.5 Porovnání základního a rozšířeného přenosového módu	22
obr. 2.6 Konfigurace klient-Peripheral server-Central.....	25
obr. 2.7 Hierarchie profilu GATT	26
obr. 2.8 Tvar a dosah zorného pole pro různé Fresnelovy čočky	29
obr. 2.9 Model PIR senzoru	30
obr. 3.1 Vývojový diagram funkcí algoritmu mikrokontroléru	33
obr. 3.2 Posloupnost AT příkazů	38
obr. 4.1 Form Password	40
obr. 4.2 Form Surveillance system.....	41
obr. 4.3 Form AutomaticMode	42
obr. 4.4 Form SelfControl	43
obr. 4.5 Ukázka zdrojového kódu WebBrowser	43

Seznam příloh

Příloha A: Profily BT4.0

Příloha B: Ideové schéma zapojení

Příloha C: Výkres dohledového zařízení

Příloha D: 3D model dohledového zařízení

Příloha E: Schéma zapojení 1

Příloha F: Schéma zapojení 2

Příloha G: Hladiny top a bottom

Příloha H: Osazovací schéma

Příloha I: Rozměry DPS

Příloha J: Kusovník

Příloha K: Protokol o měření dosahu komunikačního řetězce a PIR čidel

Příloha L: Fotografie dohledového zařízení

Příloha M: Obsah přiloženého CD

Seznam symbolů a zkratek

BT (Bluetooth)
BSIG (Bluetooth Special Interest Group)
PIR (Passive Infrared)
IP (Internet Protocol)
FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum)
AFHSS (Adaptive Frequency Hopping)
WPAN (Wireless Personal Area Networks)
RFCOMM (Radio Frequency Communications Port)
EDR (Enhanced Data Rate)
FSK (Frequency-shift keying)
PSK (Phase-shift keying)
NFC (Near Field Communications)
SSP (Secure simple pairing)
BLE (Bluetooth low energy)
GATT (Generic Attribute Profile)
LTE (Long Term Evolution)
LMP (Link manager protocol)
L2CAP (Logical link control and adaptation protocol)
SDP (Protokol service discovery protocol)
HCI (Host controller interface)
WAP (Wireless application protocol)
TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol)
OBEX (Object Exchange)
ISM (Industrial Scientific Medical)
FEC (Forward Error Correction)
DPSK (Differential Phase Shift Keying)
ECDH (Elliptic Curve Diffie Hellman)
DH (Diffie Hellman)
LK (Link key)
ATT (Attribute Protocol)
ABS (Akrylonitrilbutadienstyren)
PMMA (Polymethylmetakrylát)
SDA (Synchronous Data)
SCL (Synchronous Clock).
WDR (Watchdog reset)

1. Úvod

1.1. Motivace

Autorovým motivačním impulzem k vytvoření diplomové práce na téma „Aplikace standardu IEEE-802.15.1 v dohledovém systému“ se staly srpnové povodně roku 2010, které postihly především domácnosti Libereckého kraje. Do záchranných operací a následných akcí k odstraňování povodňových škod a záchraně majetku bylo zapojeno 1040 hasičů, 780 vojáků, a nespočetné množství dobrovolníků z celé České republiky. I přes nasazení více než 700 policistů se nepodařilo v postižených oblastech zcela zabránit rabování, i když bylo zadrženo a následně odsouzeno 5 pachatelů.

Ve spolupráci s členy aktivních záloh Armády České republiky tak vznikla myšlenka na návrh a následnou realizaci dohledového zařízení, které by mohlo umožnit uvolnění kapacit z hlídkové činnosti a jejich přesunutí na odklizení škod, čímž by došlo ke zrychlení prací a s tím spojené nižší škodě vzniklé na majetku.

Vytvořený prototyp dohledového zařízení se vzhledem k podmínkám vznikajícím v postižených oblastech vyznačuje zvýšenou mechanickou odolností, zvýšenou odolností proti vniknutí vody a schopností monitorovat střežený prostor bez nutnosti připojení k veřejné elektrické rozvodné síti. Použitím Li-pol akumulátorů a mikro-procesorového rychlonabíječe s balancerem je doba potřebná k opětovnému plnému nabití 1,5 hodiny. Zařízení je díky široké škále vstupního napětí rychlonabíječe možno nabíjet z automobilových akumulátorů, solárních panelů či přenosných generátorů.

1.2. Cíl práce

Diplomová práce „Aplikace standardu IEEE-802.15.1 v dohledovém systému“ si klade za cíl vytvořit prototyp dohledového zařízení, na kterém by se dal ověřit koncept kombinující nízkoenergetickou bezdrátovou technologii Bluetooth 4.0 s výkonnou, vysokorychlostní přenosovou technologií standardu IEEE 802.11. Stěžejními zkoumanými parametry BT (Bluetooth) modulu jsou jejich energetické nároky, reálný dosah, přenosové rychlosti a elektromagnetická kompatibilita s bezdrátovou sítí wi-fi a jejich společný vliv na rušení PIR (Passive Infrared) čidel.

Diplomová práce se skládá ze čtyř hlavních částí členěných do jednotlivých kapitol.

Teoretická analýza se zabývá historií vývoje, architekturou a funkčními principy standardu IEEE-802.15.1. Porovnává aktuálně využívané specifikace bezdrátové technologie Bluetooth a jejich technické parametry. Seznamuje s nejčastěji se vyskytujícími prvky venkovní perimetrické ochrany využitelnými pro přenosná zabezpečovací zařízení.

Praktická část obsahuje jednotlivé, podrobně zdokumentované segmenty mechatronického systému dohledového zařízení. Řídicí podsystém je realizován pomocí 8-bitového mikroprocesoru ATMEGA328PU společnosti ATMEL. Informační a senzorický podsystém je tvořen PIR snímači narušení perimetrické ochrany, senzory teploty, osvětlení, polohy elektromechanického podsystému a senzory natočení servopohonu. Akční člen je zastoupen stejnosměrným motorem a ovládacím motorovým H-můstkem integrovaným v obvodu L293D. Sběrnice komunikačního řetězce spojující operátorské rozhraní s řídicím systémem je realizována implementací virtuální sériové linky RS232, využitím protokolu RFCOMM (Radio Frequency Communications Port) BT modulů cB-OLP425x-04 firmy connectBlue. Vizualizační systém je tvořen IP (Internet Protocol) kamerou Edimax IC-3110W spojenou s operátorským rozhraním využitím standardu IEEE 802.11.

V části Ovládací software dohledového zařízení je popsáno grafické uživatelské rozhraní a části zdrojového kódu programového vybavení sloužícího k ovládání dohledového zařízení. Tento kód je napsán v jazyce C# pod .NET Frameworkem, v integrovaném vývojovém prostředí Microsoft Visual Studio 2012.

V experimentální části jsou popsána měření na prototypu dohledového zařízení ověřující jeho reálné parametry. Následně jsou naměřené hodnoty porovnány s požadovanými hodnotami a výsledky jsou zrekapitulovány v závěru.

2. Analýza

2.1. Standard IEEE 802.15.1 technologie Bluetooth

Komplikace spojené s transferem dat a propojením mezi mobilními zařízeními, počítači a jejich perifériemi byly patrné již v první polovině devadesátých let. Z tohoto důvodu vzniklo rychlé, zabezpečené, energeticky nenáročné a poměrně spolehlivé propojení na krátkou vzdálenost, nahrazující odlišné typy datových kabelů s množstvím rozdílných konektorů od různých výrobců.

První verze BT, která byla později standardizována normou IEEE-802.15.1 si téměř okamžitě našla uplatnění nejen mezi běžnými uživateli, ale i v mnoha specializovaných odvětvích a průmyslových aplikacích. Podle odhadů se od schválení standardu před dvanácti lety vyrobilo více než 9 miliard čipů Bluetooth. (2012) V současnosti se skupina BSIG (Bluetooth Special Interest Group) snaží prostřednictvím pravidelných aktualizací a rozšíření standardu udržet svoji pozici na trhu a zůstat tak nejrozšířenější technologií používanou pro bezdrátový přenos dat na krátké vzdálenosti.

2.1.1 Historie a vývoj Bluetooth

Počátky technologie Bluetooth sahají do roku 1994, kdy z divize Mobile Communications Division firmy Ericsson vyšel požadavek na vypracování studie k realizovatelnosti bezdrátové náhrady kabelového propojení mobilního telefonu s osobním počítačem. Zadané problematiky se zhostili inženýři Jaap Haartsen a Sven Mattisson, kteří ještě téhož roku vypracovali specifikaci založenou na principu přeskokování frekvencí FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum). [1,2]

V květnu 1998 byla založena pěti firmami IBM, Toshiba, Intel, Ericsson a Nokia skupina BSIG. Záměrem této skupiny bylo vytvořit univerzální standard WPAN (Wireless Personal Area Networks). Z pohledu tehdejšího trhu byl okruh zakladatelů poměrně úzký, ale BSIG byl ve velmi krátké době rozšířen o firmy 3Com, Lucent, Microsoft, Motorola a další. V dnešní době již skupina BSIG zahrnuje převážnou většinu trhu s více než 10 000 členy. [1]

Hotovou specifikaci verze 1.0a pak BSIG představil v červenci roku 1999. Verze 1.0b reagující na připomínky uživatelů se objevila ještě v prosinci téhož roku. Jako každá nová technologie měla při svém zavádění celou řadu problémů a jednotliví výrobci měli z počátku velké potíže, aby jejich produkty byly vzájemně interoperabilní. Prvotní verze

obsahovaly povinné hardwarové adresy BT zařízení potřebné v připojovacím procesu. Což znemožňovalo anonymitu na úrovni protokolu a bylo překážkou pro služby, se kterými se pro technologii BT primárně počítalo. [1,2,3]

V únoru 2001 vyšla specifikace ve verzi 1.1 a představovala výchozí základ pro komerčně prodávané produkty. Oproti předchozím verzím byly odstraněny problémy s řadou chyb a nepřesností. Konkrétně se jednalo především o problematiku vzájemné kompatibility, jednoznačnosti přiřazení autority master-slave a byla přidána podpora pro nešifrované kanály. V roce 2002 byla tato specifikace schválena jako standard IEEE802.15.1. [1]

V listopadu roku 2003 se objevila verze 1.2, která přestože byla zpětně kompatibilní s předchozí verzí, původní specifikaci od základu přepracovávala. Architektura BT byla definována naprosto transparentně, což umožnilo rychlejší připojení a vyhledání zařízení (Fast Connection Setup). Využitím technologie AFHSS (Adaptive Frequency Hopping) došlo ke zlepšení odolnosti vůči rádiovému rušení a zamezení používání přeplněných frekvencí. Umožnila přenosy poškozených souborů, což mělo za následek zvýšení zvukové latence, a tím i vylepšení kvality hovorů v rámci připojení Extended SCO. V roce 2005 byla tato specifikace oficiálně schválena a zahrnuta pod standard IEEE 802.15.1 [1,4]

V současné době stále ještě v elektrických zařízeních hojně zastoupený standard pochází z roku 2004 a představuje specifikaci verze 2.0. Oproti předchozí verzi, se kterou je opět plně kompatibilní je rozšířena o EDR (Enhanced Data Rate). EDR je kombinací frekvenční modulace FSK (Frequency-shift keying) a digitální modulace PSK (Phase-shift keying) umožňující dosáhnout teoretické přenosové rychlosti až 3,0 Mbit/s (prakticky 2,1 Mbit/s), zkrácení pracovního cyklu, a tím snížení spotřeby energie. [1,4]

V červenci 2007 byla zveřejněna verze standardu s označením 2.1+EDR, která přináší podporu pro NFC (Near Field Communications) a umožňuje rychlejší a bezpečnější párování zařízení SSP (Secure simple pairing).

Bluetooth ve verzi 3.0 z dubna 2009 používá technologii Ultra Wide Band. Technologie BT je použito pro navázání spojení a samotný vysokorychlostní přenos se u zařízení s "+ HS" provádí přes spojení standardu IEEE802.11. Díky této modifikaci je teoreticky možné dosáhnout přenosové rychlosti až 24 Mbit/s. [1,3,4]

Nízkoenergetický standard Bluetooth 4.0 BLE (Bluetooth low energy) byl oficiálně přijat 30. června 2010. Oproti předchozím specifikacím jsou BLE založeny na

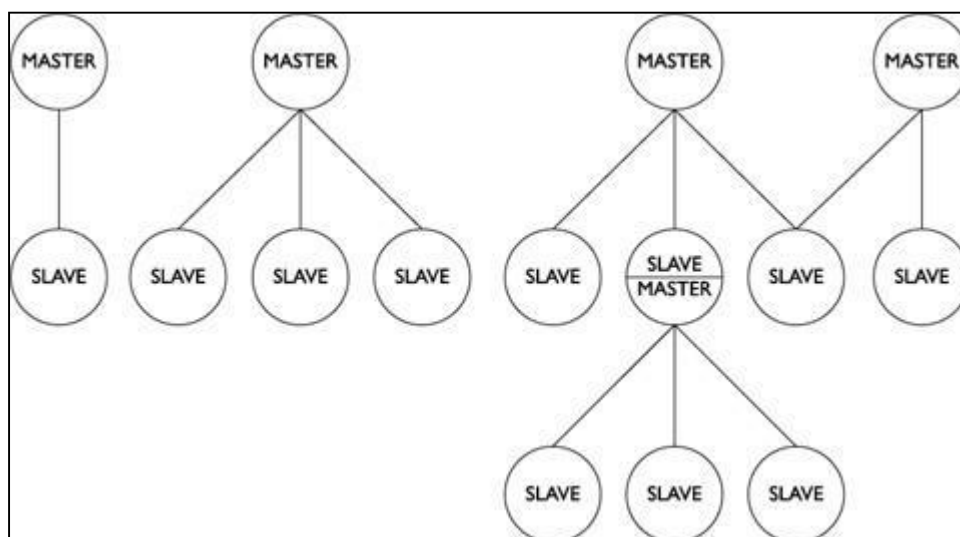
profilu s obecnými atributy GATT (Generic Attribute Profile). Profil GATT se používá k vyhledávání dostupných zařízení a pro čtení a zápis hodnot do těchto zařízení. Vývojářům aplikací tato specifikace umožňuje vyvíjet své vlastní profily a služby, které mohou následně přidávat k původním profilům a službám organizace BSIG. Vzhledem k maximální přenosové rychlosti pohybující se okolo 1 Mbit/s nachází své uplatnění především u zařízení s malými datovými toky, kde je primární požadavek kladen na nízkou spotřebu.

Na konci roku 2013 se technologie Bluetooth dočkala prozatím své poslední revize s označení Bluetooth 4.1. Oproti předchozím standardům se u verze 4.1 jedná o softwarovou aktualizaci jádra. Existující zařízení podporující verzi 4.0 mohou dostat podporu nové revize formou aktualizace ovladače nebo firmwaru. Toto revoluční rozšíření kompatibility přináší řadu vylepšení. Kromě již zmiňované možnosti aktualizace revize se vývojáři soustředili na vzájemné fungování Bluetooth a sítě LTE, na podporu síťové komunikace prostřednictvím protokolu Ipv6. Byla obnovena podpora buněk topologie Scatternet, kde je zařízení schopno plnit jak funkci periferie, tak funkci hostitele HUBu.

2.1.2 Topologie Bluetooth sítě

Základní struktura BT sítě je založena na jednotlivých buňkách nazývajících se piconet. Jedná se o nejrozšířenější komunikační buňku tvořenou maximálně osmi zařízeními, ve které se jedno zařízení chová jako řídicí jednotka (master) a ostatní jako podřízené jednotky (slave). Řídicí jednotkou je stanovena jednotka, která jako první buňku vytvoří. V této základní topologii je pouze jedna řídicí jednotka, avšak je možné řídicí funkci předat jiné buňce, která předtím nesla označení slave. [1,4]

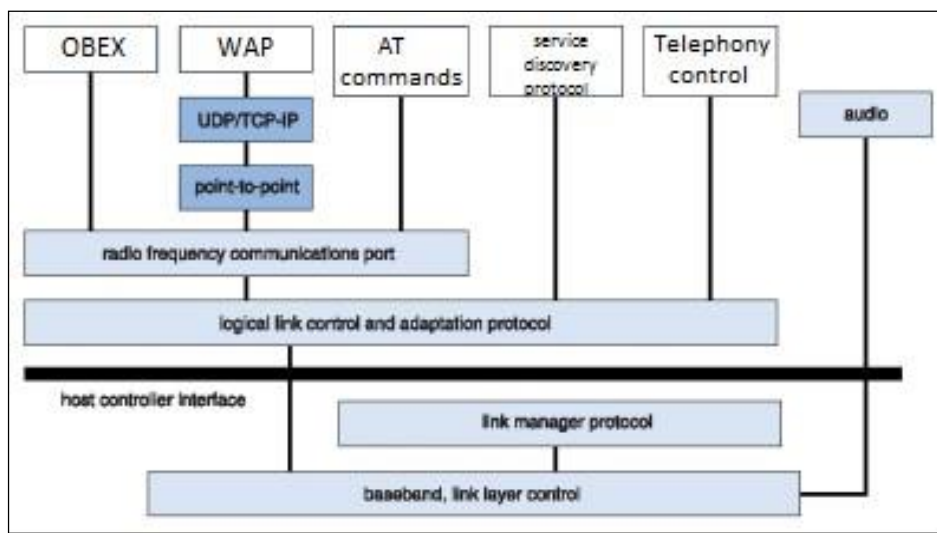
Vyšší strukturou topologie je buňka scatternet, která umožňuje realizovat více buněk piconet ve stejné oblasti, aniž by došlo k omezení jednotlivých propojených piconet v přenosové rychlosti či kapacitě. [1,4] Na obr. 2.1 Topologie BT sítě jsou zobrazeny tři možné příklady propojení BT zařízení. Vlevo je nejjednodušším zapojení, Master-Slave, kde je buňka piconet tvořena řídicí a řízenou jednotkou. V prostředním případě se jedná o ukázkou zapojení nadřízené jednotky a více podřízených jednotek. V pravé část obrázku je pak zobrazena vyšší struktura BT topologie Scatternet, kde je jedna jednotka v piconetu podřízená a současně v jiném piconetu nadřízená. [2,3]



obr. 2.1 Topologie BT sítě

2.1.3 Architektura Bluetooth

BT je definován jako architektonická struktura obsahující čtyři nejnižší vrstvy a k nim přidružené protokoly linkové vrstvy a protokoly vyšších vrstev definované specifikací. Mezi povinné protokoly linkové vrstvy patří LMP (Link manager protocol), L2CAP (Logical link control and adaptation protocol) a SDP (Protokol service discovery protocol), kromě toho jsou všeobecně podporovány protokoly HCI (Host controller interface) a RFCOMM (Radio frequency communications). Protokoly vyšších vrstev jsou zastoupeny AT commands a WAP (Wireless application protocol). Technologie BT zahrnuje podporu standardu jiných organizací v podobě adoptovaných protokolů, jakými jsou např. TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol), PPP (Point to Point Protocol) nebo OBEX (Object Exchange). Vzhledem k tomu, že tyto protokoly nebyly použity v praktické realizaci a ani v jiných průmyslových aplikacích se s nimi příliš neseťkáváme, omezím se pouze na jejich uvedení. Na obr 2.2 Architektura přenosových protokolů standardu BT jsou uvedeny nejčastěji používané protokoly technologie BT řazené dle jednotlivých vrstev struktury.



obr. 2.2 Architektura přenosových protokolů standardu BT

LMP

Vrstva link manager protocol slouží k navázání spojení mezi jednotkami Bluetooth a jejich následnému řízení. Sestavuje komunikaci mezi zařízeními a ustanovuje délku paketů využívaných pro vzájemné spojení.

Tato vrstva dále zodpovídá za řízení spotřeby, generování, řízení a změny používaných kanálů. V neposlední řadě také obsluhuje autentizace zařízení a provádí následné šifrování datového přenosu. [2,4]

L2CAP

Vrstva logical link control and adaptation protocol zprostředkovává služby pro datové přenosy. Zodpovídá za rozdělení a následné opětné složení datových paketů, přesahujících maximální přípustnou délku paketu. Zajišťuje předem dohodnuté a definované parametry např. přenosovou rychlost a zpoždění. Umožňuje multiplexování protokolů, které jsou definovány vyššími vrstvami architektury BT např. SDP, RFCOMM a TCS Binary, popsané v dalších podkapitolách. [2,4]

SPD

Protokol service discovery protocol vymezuje, jakým způsobem klientská jednotka Bluetooth (slave) vyhledává dostupné služby serverů Bluetooth. Definuje postupy, jakými může klientská stanice vyhledávat služby serverů bez předchozí znalosti

o jejich existenci. Součástí mechanismu je vyhledávání nově dostupných služeb v síti a detekce služeb, jejichž poskytování již bylo ukončeno. [2,4]

HCI

Vrstva host controller interface definuje jednotnou metodu pro přístup k příkazovému rozhraní a umožňuje přistupovat k parametrům připojení. Řídí přístupy kanálu, řídící registry a registry událostí. Prostřednictvím asynchronně posílajících zpráv monitoruje stav hardwaru a zároveň informuje o událostech, ke kterým v průběhu komunikace došlo, např. navázání spojení nebo informace o způsobu řízení datového toku. [2,4]

RFCOMM

Radio frequency communications představuje jeden z nejdůležitějších aplikačních protokolů. Slouží k vytvoření virtuálního protokolu sériového portu a je tak vhodný pro aplikace využívající k přenosu dat sériovou linku. Z tohoto důvodu je protokol RFCOMM vybaven emulací řízení portu RS-232 a ovládání signálů přes fyzickou vrstvu Bluetooth. Protokol poskytuje služby vyšším vrstvám, které používají pro přenos dat sériovou linku, např. připojení místní sítě LAN přes TCP/IP za použití sériového protokolu PPP (Point to Point Protocol). [2,4]

AT commands

Standard Bluetooth umožňuje využívat skupiny servisních AT příkazů, jedná se o textové příkazy, s plně definovanou syntaxí, původně sloužící pro řízení a konfiguraci sériových telefonních modemů. Tato služba využívá vrstvu RFCOMM, kde emuluje služby sériového portu, a umožňuje komunikaci s jednotkou Bluetooth a její nastavení pomocí textových příkazů. Jednotlivé významy a použití AT příkazů při konfiguraci BT zařízení je popsáno v praktické části kapitole 3.5 „Komunikační řetězec.“ [2,4]

WAP

Wireless application protocol se řadí mezi hojně využívané adoptované aplikační protokoly zpřístupňující internetové služby v rámci bezdrátových komunikačních sítí.

Protokol WAP byl primárně vytvořen pro mobilní zařízení. BT je u těchto přístrojů základní bezdrátovou sítí pro přenos informací od master zařízení WAP k podřízenému zařízení WAP. Ve spojitosti s BT se využívá protokolu WAP k předávání dat do přenosných zařízení v případě přihlášení klientské (podřízené) stanice do dané oblasti spravované řídicí master jednotkou. [2,4]

2.1.4 Frekvenční pásma

Standard BT využívá pásmo o kmitočtu 2400 MHz až 2483,5 MHz označované zkratkou ISM. Jedná se o pásmo vyhrazené pro průmyslové (Industrial), vědecké (Scientific) a lékařské (Medical) aplikace. Ke komunikaci v tomto nelicencovaném pásmu není zapotřebí žádného povolení či registrace na ČTU. Dokonce nejsou kladeny požadavky na použitý druh modulace či rámcový formát. Je však zapotřebí dodržovat určitá regulační opatření týkající se především omezení výkonu. [2,4]

Komunikační kanály jsou od sebe vzdáleny 1 MHz, z čehož vyplývá, že kanálů použitelných aplikacemi BT je celkem 79. Vysílací pásmo je dále ohraničeno dolním ochranným pásmem o šířce 2 MHz a horním ochranným pásmem se šířkou 3,5 MHz. Z důvodu potlačení možných interferencí s dalšími signály se používá metoda FHSS s rychlostí 1600 skoků za sekundu mezi všemi 79 kanály. To tedy znamená, že každou 1/1600 sekundy se vysílá na jiné frekvenci. Od BT verze 1.2 se používá adaptivní přeskakování mezi kmitočty AFH, které je určeno k omezení rušení mezi bezdrátovými technologiemi. Modulace signálu se provádí pomocí Gaussovske modulace s frekvenčním klíčováním. BT verze 2.0 používá pro zvýšení přenosové rychlosti modulace PSK. [2,4]

Třída	Výstupní výkon		
	maximální	nominální	minimální
1	100mW	nespecifik.	1mW
2	2,5mW	1mW	0,25mW
3	1mW	nespecifik.	nespecifik.

obr. 2.3 Výkonové třídy BT zařízení

BT zařízení jsou dle normy z hlediska maximálního vyzářeného výkonu rozdělena do tří kategorií, jak ukazuje obr 2.2. Výkonové třídy BT zařízení. V České republice je maximální povolený vyzářený výkon v pásmu ISM 100 mW, ale pouze za předpokladu,

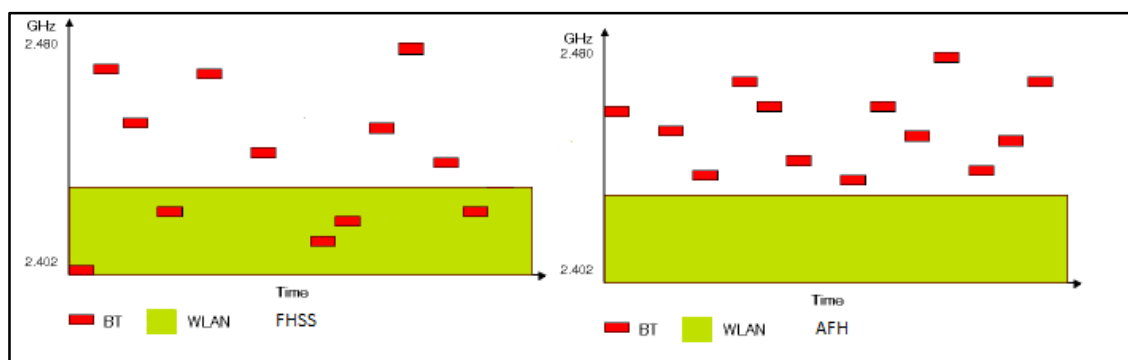
že zařízení 1. výkonové třídy BT podporuje mechanismus zpětného řízení výkonu vysílací strany. V opačném případě smí vysílací strana odpovídat pouze výkonové třídě 2 a 3. [2,4]

2.2. Aktuální specifikace standardu IEEE 802.15.1

V průmyslových aplikacích a aplikacích s požadavkem na zvýšenou spolehlivost přenosu musí být realizace možné konfigurovat dle specifikací jednotlivých aplikací. Důraz je kladený na robustnost, optimalizaci rychlosti, latenci, spotřebu energie, dosah a případnou optimální kombinaci těchto požadavků. V současné době je převážná většina těchto bezdrátových průmyslových aplikací standardu BT realizována specifikacemi verze 2.1+EDR a verze 4.0 Low Energy BLE.

2.2.1 Bluetoothv.2.1

Pro možnosti využití bezdrátové technologie v průmyslových aplikacích, musí být zaručena její odolnost proti radiovému rušení. U obou standardů BT používaných v průmyslových aplikacích je docíleno minimalizace dopadu případných interferencí prostřednictvím adaptivního přeskakování mezi kmitočty AFH, vycházejícím z FHSS jejichž princip byl vysvětlen v kapitole 2.1.4 „Frekvenční pásma“.



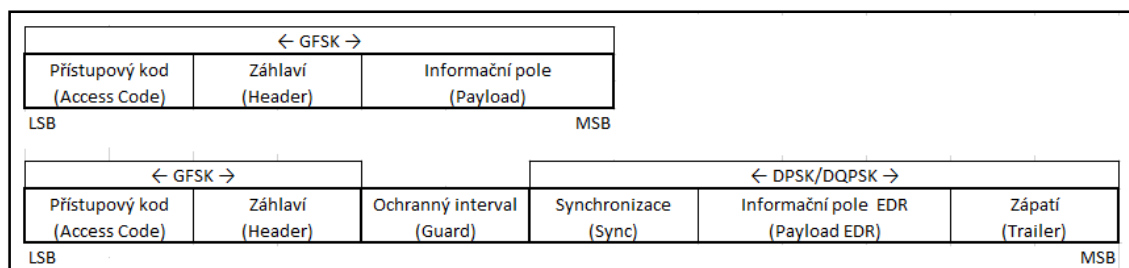
obr. 2.4 Porovnání adaptivního přeskakování kmitočtů AFH s FHSS

Vzhledem k použití stejného pásma ISM pro BT i WLAN je koexistence sítí ohrožena vznikem vzájemných interferencí. Díky využití AFH bluetooth zařízení zablokuje frekvenční kanály, na kterých se projevuje rušení, což má za následek zhoršení kvality přenosu u WLAN. Aktivace mechanismu AFH trvá několik sekund, což znamená, že provoz na WLAN bude dotčen po dobu potřebnou k navázání BT spojení a naběhnutí

AFH. V 30 sekundových intervalech jsou frekvence vyjmuté z BT komunikace opětovně testovány, a není-li na nich zaznamenán žádný provoz, jsou opět použity.[1,6]

K detekci chyb na přijímači, a zároveň k opravě případně se vyskytujících chyb v přenosu, slouží dopředná chybová korekce FEC (Forward Error Correction). BT využívá pro zabezpečení FEC s poměrem 1/3 nebo 2/3. V prvním případě se jedná o prosté trojnásobné opakování každého bitu. U FEC s poměrem 2/3 je využit zkrácený lineární Hammingův kód (10,15) pro opravu jedné chyby. S těmito kontrolními a opravnými mechanismy se BT stává velmi robustní bezdrátovou technologií.[5,6]

Na trhu jsou velmi rozšířené BT moduly verze 2.1+EDR. Podpora Enhanced Data Rate umožňuje dosažení datové rychlosti až 3 Mbit/s, což znamená 2178 kbit/s v jednom směru při současném výrazném snížení spotřeby energie. Oproti základnímu přenosovému módu celkově modulovaného pomocí GFSK obsahujícímu pole přístupového kódu, záhlaví a uživatelská data je paket pro EDR rozšířen o synchronizační pole, ochranný interval a zápatí. Zvýšení přenosové rychlosti je dosaženo změnou modulace těla paketu z modulace GFSK na modulaci 8DPSK (8 Differential Phase Shift Keying) pro rychlost 2 Mbit/s nebo $\pi/4$ -DQPSK ($\pi/4$ rotated Differential Quaternary Phase Shift Keying) pro rychlost 3 Mbit/s.[5,6]



obr. 2.5 Porovnání základního a rozšířeného přenosového módu

Aktivováním módu EDR je v paketu po záhlaví vložen, jak je patrné na obr. 2.5 „Porovnání základního a rozšířeného přenosového módu“, ochranný interval. Ten je potřebný ke změně modulačního schématu fyzické vrstvy na příslušnou vybranou modulaci. Počátek paketu, tedy přístupový kód a záhlaví, jsou modulovány modulací GFSK s přenosovou rychlostí 1 Mbit/s. Vlastní informační pole a záhlaví je modulováno s již vyšší přenosovou rychlostí. Ačkoliv průmyslové moduly EDR podporují, je jí v aplikacích zřídka kdy využíváno. Je to dáno, jednak potřebou výkonného CPU a relativně velké paměti k plnému využití přenosové rychlosti, ale především faktem, že

EDR nepodporuje FEC, což by mohlo znamenat riziko opakovaného vysílání a packetů, a s tím spojené větší zpoždění.[1,5,6]

Posledním vylepšením BT verze 2.1, a důvodem jejího masového rozšíření do průmyslových bezdrátových sítí je použití bezpečné jednoduché párování SSP (Secure Simple Pairing), vyznačující se zjednodušením procedury párování z uživatelského hlediska a současně posílením zabezpečení technologie BT proti, jak aktivnímu, tak pasivnímu odposlechu. V případě aktivního odposlechu je posílení ochrany dosaženo použitím využitím veřejného klíče ECDH (Elliptic Curve Diffie Hellman). K ochraně před aktivním odposlechem je použita kombinace metod asociace a zadání univerzálního klíče, kdy je pak celá procedura SSP rozdělena do pěti fází. [1,5,6]

V první fázi, počátku párování, se začíná výměnou veřejných klíčů a generováním soukromých klíčů za použití ECDH. Tyto klíče jsou každým zařízením generovány na začátku párování, je však možné je kdykoliv zahodit a vygenerovat nové klíče. Na obou stranách je ze soukromého klíče a přijatého veřejného klíče vypočten společný klíč DH (Diffie Hellman). [1,5,6]

Autentizace BT zařízení se dělí do dvou částí. V první části dochází k výběru z celkem čtyř existujících modelů přidružením třech definovaných protokolů. V druhé pak každé zařízení vypočte z dříve získaných hodnot a sdíleného klíče DH svou potvrzovací hodnotu A respektive B. Master vypočtenou hodnotu A pošle na slave, který ji ověří, a v případě shody se svou vypočtenou hodnotou, vyšle svoji potvrzovací hodnotu B k inicializujícímu zařízení, jenž opět provede její kontrolu. V případě neshodných hodnot v jakékoliv fázi autentizace je párování přerušeno. [1,5,6]

Ve čtvrté fázi je ze sdíleného společného klíče a vyměněných hodnot vypočten spojový klíč LK (Link key), který je používán k udržení zařízení ve stavu spárování.

Závěrečnou fází je vygenerování šifrovacího klíče KC, získaného kombinací aktuálního spojového klíče, 96-bitového šifrovacího offsetu a 128-bitového pseudonáhodného čísla RAND generovaného stanicí master. Šifrovací klíč musí být změněn každých 228 BT hodin, což odpovídá přibližně 23,3 hodinám. Pokud by se během této doby tak nestalo, spojení bude přerušeno. [1,5,6]

2.2.2 Bluetooth v 4.0

Nízkoenergetická technologie Bluetooth verze 4.0 low energy přebírá od předchozích standardů označovaných Classic Bluetooth některé z klíčových komponentů, jakými jsou architektura vrstev, jednoduché párování a adaptivní přeskokování mezi kmitočty. Hlavní důraz při vývoji tohoto standardu, jak napovídá sám název, byl kladen na minimalizaci spotřeby elektrické energie.

Zařízení podporující tento standard se dají rozdělit do dvou kategorií. Single-mode BT označované jako Bluetooth low energy only, které podporují pouze standard verze 4.0, jsou cíleny na využití v nenáročných aplikacích a zaujmou především svými nízkými výrobními náklady. Druhou kategorií tvoří Dual-mode BT zařízení nazývané Bluetooth smart devices ready podporující jak Classic BT pro velké datové přenosy, tak BT Low Energy pro úsporu energie. [1,6]

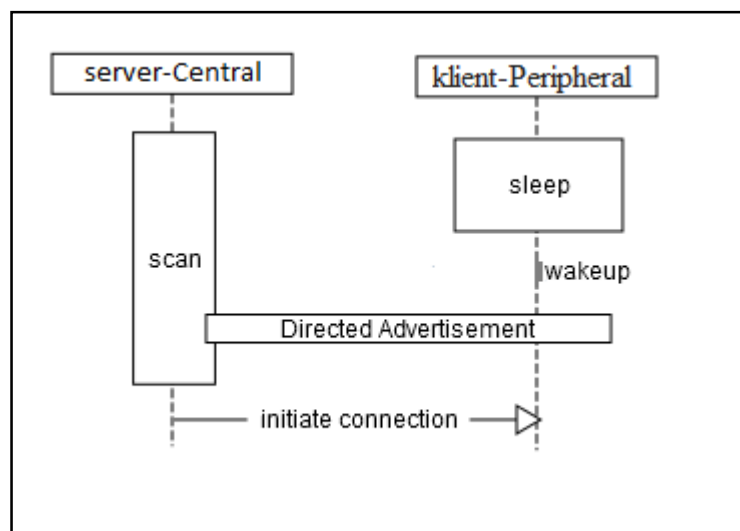
Výraznější odlišností nového standardu oproti předchozím se projevuje v oblasti frekvenčního pásma. K párování a propojení zařízení se používá 3 frekvenčních kanálů (2402, 2426, 2480 MHz) na místo 32 používaných u Classic BT. Redukování počtu kanálů vede k úspoře času nutného k detekci a propojení zařízení z řádů stovek do řádů jednotek milisekund. Pozitivním aspektem zkrácení doby potřebné k navázání spojení je omezení délky rušení na síti WLAN a úspora energie. [1,6]

Po nastavení BT komunikace se k samotnému datovému přenosu používá 37 kanálů o šířce 2 MHz s AFH. BT Low energy má nižší index modulace, což znamená, že umožňuje sice delší dosah a větší stabilitu spojení, ale zároveň oproti Classic BT, nižší přenosovou rychlost s teoretickým limitem 260 kbit/s. [1,6]

Topologie BT Low energy vykazuje jisté inovace i v topologii, především se jedná o doplnění profilu klient a server o dvě nastavení Central a Periphera. Ty jsou používány v závislosti na volbě nízkoenergetické profilu. Základní myšlenkou tohoto rozšiřujícího konceptu je udržet Periphera po většinu času v režimu nízké spotřeby.

V základní konfiguraci, převzaté z navazování spojení Classic BT, je používáno nastavení, kde klient je typu Central a server typu Periphera. Klient v daných časových intervalech provádí skenování, probouzí server-peripher z úsporného režimu a vyžaduje jeho identifikaci. V závislosti na typu modulu a použití je možné konfigurovat maximálně sedm vzdálených serverů. Topologie této konfigurace odpovídá rozšířenému piconetu z obr. 2.1

V základní konfiguraci je adresa BT zařízení typu server uchovávána v klientovi, což má za následek omezení počtu připojitelných serverů. Druhého typu konfigurace modulu klient-Periphera, server-Central, se používá v případě, kdy Central musí komunikovat s větším počtem senzorů. Klient-Peripheral využije implementovanou směrovou inzerci cílenou na konkrétní server-Central. Detekuje-li server-Central tuto inzerci, inicializuje spojení. Postup připojení serveru a klienta je zobrazen na blokovém schématu obr.2.6 Konfigurace klient-Peripheral server-Central.

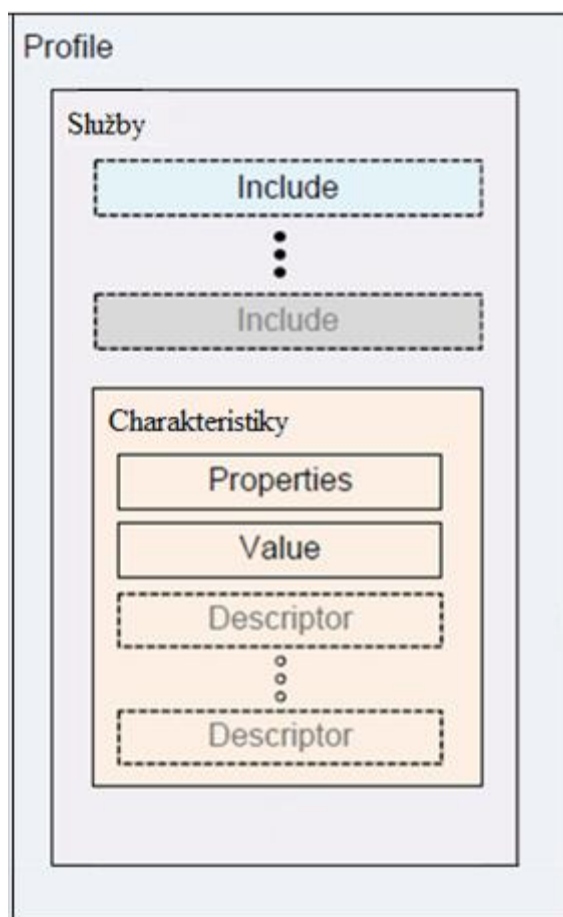


obr. 2.6 Konfigurace klient-Peripheral server-Central

V podstatě je možné nastavit libovolný počet klient-Peripheral připojitelných na stejný server-Central. Maximální počet současně připojených paralelních vedení je limitován vnitřní hardwarovou strukturou modulu, nicméně počet podporovaných souběžných spojení nemusí být příliš vysoký, protože moduly klient-Peripheral tráví většinu času v režimu nízké spotřeby a probouzí se jen k nastavení připojení a přenosu dat.

Profily používané zařízeními BT Low energy jsou založeny na profilu s obecnými atributy GATT postavenými na ATT (Attribute Protocol). Přehled a stručný popis oficiálně přijatých profilů založených na protokolu GATT je uveden v příloze A. Samotný profil GATT definuje dvě role Server a Client, které nemusí být nutně vázány na předešlou konfiguraci BT zařízení. Server-GATT ukládá data přenášena přes ATT, přijímá příkazy a posílá odpovědi na požadavky od klient-GATT. Atributy přepravované protokolem ATT lze rozdělit na služby a charakteristiky zobrazené v blokovém schématu na obr. 2.7 „Hierarchie profilu GATT“.

Služby obsahují konkrétní bloky dat nazvané charakteristiky, přičemž mohou zahrnovat jednu nebo více z těchto charakteristik. Každá služba se odlišuje od ostatních prostřednictvím jedinečného číselného ID zvané UUID. Pro oficiálně přijaté BT Low energy služby je UUID v podobě 16-bit kódu a pro vlastní služby je v 128-bitovém kódu. [1,6,7]



obr. 2.7 Hierarchie profilu GATT

Nejnižší úroveň v protokolu GATT zastávají charakteristiky, které obsahují jednu hodnotu a libovolný počet deskriptorů popisujících charakteristické vlastnosti hodnoty a konfigurační informace. Podobně jako u služeb, je možné využít standardně definovaných charakteristik nebo si vytvořit své vlastní. V obou případech je jejich jednoznačná identifikace zaručena přiděleným UUID. [1,6,7] Přehled oficiálně podporovaných služeb a charakteristik je uveden na <https://developer.bluetooth.org/gatt/Pages/default.aspx>.

2.3. Prvky venkovní, perimetrické ochrany

Prvky venkovní, perimetrické ochrany jsou senzory detekující narušení venkovních prostor, resp. vnějšího perimetru střeženého objektu či komplexů budov. Odlišné specifikace konkrétních chráněných prostor daly podnět k existenci celé řady senzorů, založených na různých fyzikálních principech. Vzhledem ke specifikaci sestrojeného dohledového zařízení v praktické části se tato kapitola zaměřuje pouze na čidla vhodná k univerzálnímu a snadnému opakovatelnému rozmístění v prostoru.

2.3.1 Infračervené závory a bariéry

Infrazávory patří mezi nejrozšířenější typy aktivních perimetrických čidel, k zjištění napadení střeženého prostoru vytvářejí své pracovní prostředí aktivním působením IR (Infrared) paprsků na své okolí. Mezi vysílací a přijímací stranou, případně vysílačem a odrazkou u reflexních IR závor, prochází jeden či více IR paprsků. Při přerušení některého z nich dochází na přijímací straně k vyhodnocení a vyhlášení poplachového stavu. Ke zvýšení odolnosti proti nežádoucím externím zdrojům světla pracují IR závory v pulsním režimu. Bývají vybaveny vnitřním vyhříváním, aby nedocházelo vlivem klimatických změn k orosení či případnému vytvoření námrazy z vnější strany optiky. Rizikové faktory vzniku falešných poplachů u těchto čidel jsou ryze optického charakteru, na snížení propustnosti prostředí má vliv mlha, padající sníh případně přímý sluneční svit. [12]

Oblíbenost infrazávor při použití v obvodové ochraně je dána jejich relativně nízkými pořizovacími náklady. Použitelný dosah se pohybuje mezi 50 m až 250 m v závislosti na použitém provedení. Z technického hlediska je zvyšování dosahu možné, ale nepoužívá se z důvodu potřeby zachování informace o přibližném místě narušení.

Nevýhodou tohoto typu zabezpečení je složitá montáž a nastavení. Přívodní kabely musí být dimenzovány nejen k napájení samotných laserových IR diod, ale je nutno počítat i s nezanedbatelným příkonem k vytápění pouzder. Při použití na rozsáhlých pozemcích se musí jednotlivé na sebe navazující úseky vzájemně alespoň částečně překrývat, aby nedocházelo k vytváření slepých koridorů. Další nezbytnou podmínkou pro aplikaci tohoto systému v prostoru, je naprosto rovný terén mezi vysílačem a přijímačem.

2.3.2 Mikrovlnná čidla a mikrovlnné bariéry

Aktivní, mikrovlnná čidla prostorové ochrany vysílají do svého okolí elektromagnetickou energii, využívají část spektra elektromagnetického vlnění nad pásmem kmitočtů slyšitelných lidským uchem. Většinou se jedná o pásma 2,5 GHz, 10 GHz nebo 24 GHz.

Vysílač vyšle impuls o konstantním kmitočtu. Vyslaný impuls se odrazí od překážek v prostoru, a následně je v přijímači zpracováván. Je-li přijatá vlna ve stejném vztahu, v porovnání s vlnou vyslanou, elektronika vyhodnotí tento stav jako klidový. Pohybuje-li se ve střeženém prostoru libovolný subjekt, mění se fáze přijatého vlnění, změna fáze je vyhodnocena elektronikou a vede k vyhlášení poplachového stavu. Jedná se o aplikaci Dopplerova jevu v pásmu mikrovlnných kmitočtů.

K omezení falešných poplachů se v blízkosti mikrovlnných čidel nesmí nacházet žádné větší kovové předměty. Obzvláště problematické jsou objekty s rovinným povrchem, od kterého se mikrovlny dobře odrážejí a výrazně tak mění detekční charakteristiku. Pro zvýšení citlivosti mikrovlnných čidel se doporučuje instalace tak, aby přepokládaný pohyb narušitele vůči čidlu byl radiální. Vzhledem k tomu, že mikrovlny mohou procházet skleněnými plochami a pronikat dokonce i tenkými stěnami, je nutné nastavit výkon, a tím dosah čidla dle konkrétního místa. V rámci servisních intervalů je třeba kontrolovat, zda se nezměnily elektromagnetické vlastnosti prostoru.[11,12]

V případě mikrovlnných bariér je pouzdro vysílače a přijímače rozděleno do dvou zařízení. Mikrovlnný svazek je pro zvýšení odolnosti proti rušení amplitudově modulován. Obvykle má tvar elipsoidu s výrazným poměrem velké a malé osy vzrůstající se zvětšující se vzdáleností. Průnik narušitele do detekční zóny způsobí porušení elektromagnetického pole. Vyhodnocení amplitudy signálu na přijímači je přímo závislé na proporcionálním zastínění detekovaného objektu, což umožňuje rozlišit různé typy narušení. Výhodou mikrovlnných bariér je jejich nezávislost vůči kvalitě optického prostředí, značný dosah přibližně 200 m až 300 m a odolnost proti povětrnostním vlivům. [11,12]

2.3.3 Perimetrická pasivní infračervená čidla (infrateleskopy)

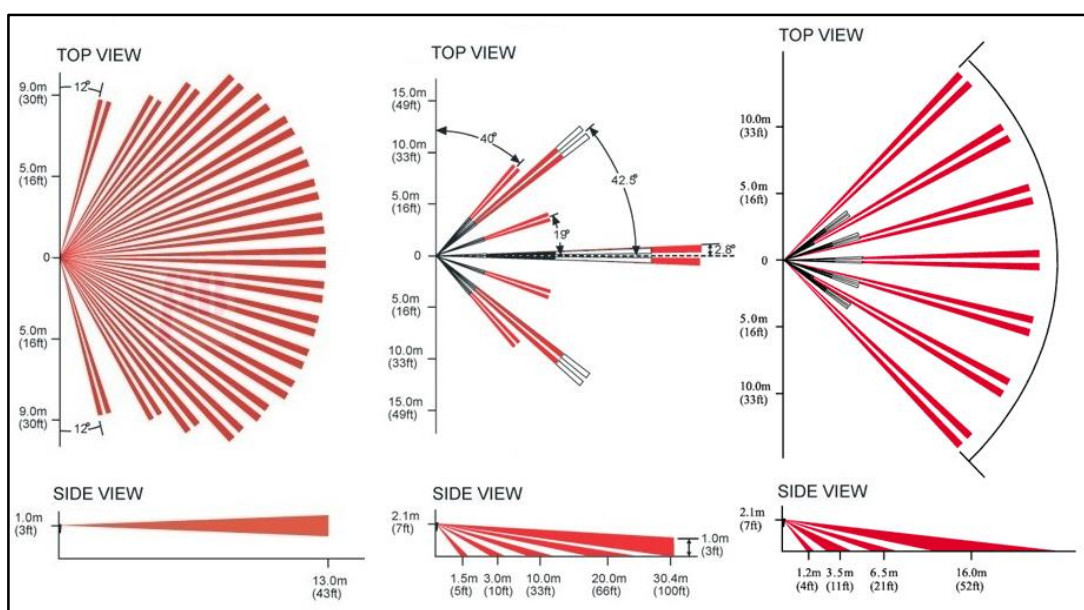
Tato čidla passive infra red sensor jsou obvykle označována zkratkou PIR, jedná se o pasivní čidlo. Ve svém okolí registruje změny vyzařování v infračervené oblasti

kmitočtového spektra elektromagnetického vlnění, aniž by se však samo podílelo na jeho vytváření. Využívá fyzikálního principu založeném na Wienově posunovacím zákonu z něho plynoucí skutečnosti, že každé těleso při teplotách od absolutní nuly po 560 °C je zdrojem neviditelného vlnění odpovídající jeho teplotě. [11,12]

$$\lambda_{\max} = \frac{hc}{x kT} = [mm] \quad (1)$$

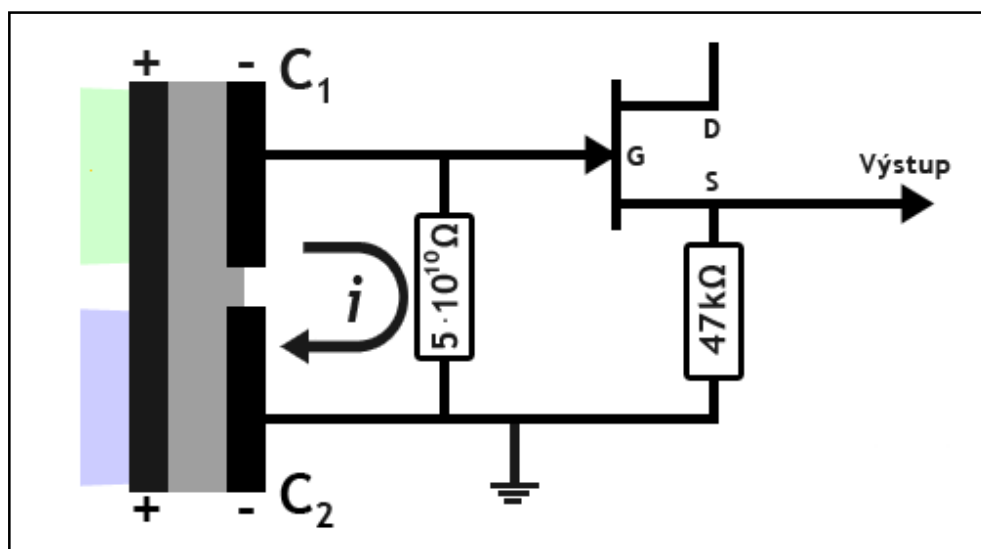
Po dosažení teploty lidského těla 35 °C do vzorce (1), kde h je Planckova konstanta, c je rychlost světla ve vakuu, k je Boltzmanova konstanta a x číselný faktor, jenž vychází z odvození a je řešením rovnice $xe^x/(e^x-1)=5$ odpovídá přibližné hodnotě $x=4,965$, získáme charakteristickou vlnovou délku $9,4 \cdot 10^{-3}$ mm. [11,12]

Ke konstrukci detektoru je použito materiálu z podmnožiny piezoelektrických materiálů, vykazujícího pyroelektrický jev. Změna teploty vyvolá deformaci krystalu a na povrchu materiálu se naindukuje elektrický náboj. Detekční prvek je měničem gradientní povahy. Nedetekuje tedy stálou úroveň záření, ale pouze změny dopadajícího záření. Obraz střeženého prostoru je promítán v IR pásmu prostřednictvím optické soustavy na plochu senzoru. Zorné pole je rozděleno na aktivní a neaktivní zóny. Tvar zorného pole je závislý na provedení optiky. V praxi se i přes nedokonalosti optického obrazu skutečnosti obvykle setkáváme se zobrazením pomocí soustavy Fresnelových čoček. Přes lepší optické vlastnosti, detekční dosah a nižší náchylnost k planým poplachům, rozšíření soustav křivých zrcadel brání náročnost návrhu, technologie výroby, a s tím spojené ekonomické důvody. [11,12]



obr. 2.8 Tvar a dosah zorného pole pro různé Fresnelovy čočky

Na obr. 2.9 Model PIR senzoru je pyroelektrický element vložen mezi elektrody dvou sériově zapojených kondenzátorů. Tím je vytvořeno diferenční zapojení zajišťující kompenzaci detekovaných změn v celém zorném poli senzoru bez vyvolání poplachového stavu. Detekovány budou tedy pouze změny, které jsou způsobeny změnou tepelného pozadí v různých částech zorného pole při přechodu z aktivní zóny do neaktivní zóny a naopak. To má za následek naindukování náboje na jednom z kondenzátorů a obvodem tak začne protékat proud. Velikost tohoto proudu bývá řádově v jednotkách pA a úbytek vzniklého napětí je tedy potřeba měřit na velkém odporu. Tímto napětím je poté řízen JFET tranzistor na výstupu obvodu. [11]



obr. 2.9 Model PIR senzoru

Existují dva způsoby zpracování takto získaného analogového signálu. Vyhodnocení překročení prahové úrovně, při níž dochází k vyhlášení poplachového stavu, se označuje jako analogové. Tento způsob posouzení bývá u většiny čidel ještě doplněn počítadlem pulsů, což vyhlášení narušení podmiňuje překročením prahové úrovně několikrát v časově definovaném okně. Při digitální zpracování signálu, též nazývaném multikriteriální, je analogový signál navzorkován a následně kvantován. V digitálním zpracování signálu se vyhodnocuje nejen velikost a jeho strmost, ale i polarita, časování, povaha energie a kmitočtové spektrum společně se statickými informacemi získanými průzkumem prostředí. Dále je použita široká škála filtru minimalizujících falešné poplachu a umožňujících nastavení prahu citlivosti pro zamezení detekce drobnými savci. [11,12]

3. Hardwarová realizace dohledového zařízení

Kapitola Hardwarová realizace dohledového zařízení popisuje jednotlivé dílčí subsystémy mechatronického systému. Kompletní hardwarová realizace v podobě ideového blokového schématu je uvedena v příloze B. Výrobní dokumentace složená z výkresu, elektrického schématu zapojení, desky plošných spojů, osazovacího výkresu a rozměrů s rozložením vrtaných otvorů je v příloze C až příloze I.

3.1. Mechanická konstrukce

K realizaci základny mechatronického zařízení byla vybrána elektroinstalační krabice z kopolymeru ABS (Akrylonitrilbutadienstyren) o rozměrech 320x240x100 mm, stupně krytí IP65 od firmy ABB. Po vyřezání, vyvrtání otvorů a následném osazení senzory perimetrické ochrany, senzory osvětlení a polohy byly instalační otvory z důvodu zachování voděodolnosti zality jednosložkovým polyuretanem. Přesto, že je materiál ABS houževnatý, odolný vůči mechanickému poškození a relativně tuhý v předepsaných teplotních rozsazích, byl na jeho vnější stěny nalepen extrudovaný polypropylen. Pro konečnou povrchovou úpravu byl zvolena rychleschnoucí, matná barva Krylon řady Camouflage v matném, černém odstínu.

Vrchní část elektromechanického zařízení slouží jako ochranný kryt vizualizačního podsystému a infračerveného přísvitů. Je realizovaná litou, čírou trubicí o průměru 160 mm a tloušťce stěny 2mm z materiálu PMMA (Polymethylmetakrylát) běžně nazývaným plexisklo. PMMA byl vybrán pro své skvělé optické vlastnosti, tak aby se eliminovalo či případně minimalizovalo zkreslení snímaného obrazu. Svou spodní částí je kryt připevněn k základně pomocí kyanakrylátového lepidla, vrchní část je ukončena PVC krytkou.

3.2. Řídící podsystém

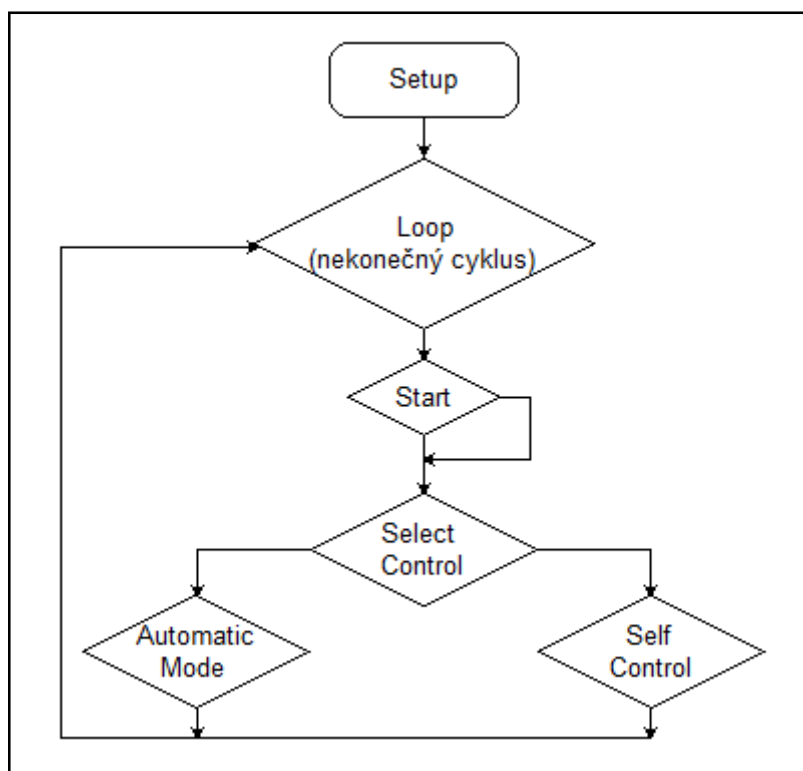
Jako řídicí prvek byl pro svůj optimální poměr mezi výkonem a pořizovacími náklady vybrán mikrokontrolér ATMEGA328P-PU založený na rozšířené architektuře AVR RISC s 16 MHz externím krystalovým oscilátorem. Paměť programu je tvořena zabudovanou Flash o kapacitě 32 kB. Hodnota napájecího napětí mikrokontroléru byla zvolena pro sjednocení s velikostí napájecího napětí senzorů na 5V. Nemalou roli ve výběru mikrokontroléru hrály autorovi předchozí zkušenosti s tímto typem obvodu. Další

základní vlastnosti 8-bitových mikroprocesorů jsou uvedeny v datasheetu na stránkách výrobce <http://www.atmel.com/devices/atmega328.aspx>.

Vzhledem k tomu, že dohledové zařízení je od počátku koncipováno jako prototyp, byla pro snadné programování vybrána montáž THT, konkrétně pouzdro DIP28. Obsahuje 14 digitálních input/output (I/O) pinů a 6 analogových pinů. Počet I/O pinů mikrokontroléru byl pro potřeby dohledového zařízení rozšířen použitím expandéru PCF8574AP, jenž je připojen přes dvojdrátovou sběrnici I²C (Inter-Integrated Circuit) na analogové piny A4 SDA (Synchronous Data) a A5 SCL (Synchronous Clock). Přidělený adresový rozsah pro expandéry 8574AP je 0x70 až 0x77. To umožňuje současné připojení až 8 zařízení a tedy rozšíření až o 64 pinů. V případě použití příbuzných součástek 8574 a 8574A s odlišnou adresací je možné počet I/O vstupů rozšířit na 192.

Vývojový diagram funkcí algoritmu mikrokontroléru je zobrazen na obr. 3.1. Ve funkci Setup dochází k nastavení periférií, načtení hodnot do proměnných z paměti EEPROM a k inicializaci sběrnic. V nekonečné smyčce Loop je v prvním cyklu po připojení napájení ve funkci Start provedena startovací sekvence. Spočívá v ošetření podmínky prvního spuštění, kdy ještě v paměti není uložena poslední poloha natočení motoru. Dále dochází, otáčením vpravo či vlevo, k nastavení počtu otoček do poloviny dovoleného rozsahu, což je důležité vzhledem k pevnému propojení napájecího kabelu kamery se základnou.

Po úspěšném ukončení startovací sekvence je volána funkce Select control, která má za úkol, dle výběru operátora, vyvolat buď automatický režim v podobě funkce Automatic Mode nebo uživatelem ovládaný režim funkcí Self control. Při volbě automatického režimu proběhne nejprve kontrola stavových veličin a parametrů instalace. V případě vyhodnocení nevhodných parametrů je operátor vyrozuměn o možných rizicích a je od něj vyžadováno dodatečné potvrzení spuštění zařízení. Ve funkci Self control je aktivována kamera a dochází k vytvoření a navázání bezdrátového spojení standardu 802.11. Jsou vypnuta pohybová čidla a při poklesu intenzity osvětlení pod danou úroveň je automaticky zapnut IR přísvit. Monitorování střeženého prostoru je v tomto módu zcela v režii operátora. Lze nastavovat rychlost a směr natáčení kamery a manuálně zapínat či případně vypínat IR přísvit. Stavové veličiny jako teplota okolí, intenzita osvětlení, stav a předpokládaná zbývající výdrž akumulátoru mají informativní účel a jsou zobrazeny v liště pod přenášeným obrazem.



obr. 3.1 Vývojový diagram funkcí algoritmu mikrokontroléru

Přestože odladění programu, především ošetření podmínek chybových stavů, bylo věnováno nemalé úsilí, je program doplněn o nezávislý čítač WDT (Watchdog timer). WDT čítá impulzy zabudovaného RC oscilátoru o kmitočtu 1 MHz. Předděličkou je možné vybrat jeden z deseti intervalů, při kterém WDT přeteče, a tím dochází k vyvolání resetu mikrokontroléru. K nulování WDT slouží speciální instrukce WDR (Watchdog reset), která je v různých částech programu několikrát vyvolána.

3.3. Informační a senzorický podsystém

3.3.1 Senzory perimetrické ochrany

Senzory pohybu mají v elektromechanickém zařízení stěžejní význam, jsou tvořeny PIR čidly Paradox PRO Pet, kanadské firmy Paradox. Čidla byla vybrána s ohledem na jejich spolehlivost, cenovou dostupnost a především možnost regulovat tvar a dosah zorného pole výměnou fresnelovy čočky. Řada PRO pet je určena pro náročnější prostředí s domácími zvířaty o maximální hmotnosti 18 kg. Vyznačuje se zvýšenou odolností proti RF rušení, inteligentním vyhodnocením a zpracováním signálu. Detekční dosah činí s použitou 88,9° čočkou 11 metrů, se středním paprskem až 15 metrů. Pro zajištění 360°

perimetrické ochrany je dohledové zařízení vybaveno celkem čtyřmi čidly. Při napájecím napětí 12 V a aktivaci všech PIR senzorů je maximální odběr 60 mA.

Pro možnost aktivace a případně deaktivace PIR čidla z řídicího podsystemu byla DPS pohybového senzoru rozšířena o bipolární tranzistor BC548B v zapojení se společným emitorem. V následujících vzorcích (2), (3), (4) jsou vypočteny hodnoty proudu báze, úbytku napětí a povolené výkonové ztráty tranzistoru při použití ve funkci spínače. Hodnota proudu báze je zvolena trojnásobná, než jaká je potřeba pro plné otevření tranzistoru.

$$I_b = 3 \times \left(\frac{I_c}{h_{FE}} \right) = 3 \times \left(\frac{20}{200} \right) = 0,3 \text{ mA} \quad (2)$$

$$R_b = \frac{U_{Rb}}{I_b} = 5 - \frac{0,7}{0,3} \cong 14,3 \text{ k}\Omega \equiv 15 \text{ k}\Omega \text{ (z řady E12)} \quad (3)$$

$$P_{ZTR} = U_{CE} \times I_c + I_{BE} \times I_b = 0,4 \times 16 + 0,7 \times 0,3 \cong 7 \text{ mW} \quad (4)$$

3.3.2 Senzor teploty

Teplota pracovního prostředí dohledového zařízení je měřena pomocí číslicového čidla DS18B20, které je připojeno k řídicímu subsystemu sběrnici 1-Wire. Každé 1-Wire zařízení obsahuje paměť ROM, skládající se z 64 bitového unikátního čísla, pomocí kterého je možné jednotlivá zařízení na sběrnici od sebe navzájem odlišit. Číslo se skládá z typu zařízení, sériového čísla a z CRC kódu, což umožňuje připojení až stovek zařízení. V případě překročení dovoleného rozsahu teplot, jenž činí 0-40 °C jsou data ze senzoru teploty vyhodnocena v řídicím subsystemu a dochází k informování uživatele pomocí uživatelského rozhraní. Omezujícím faktorem teplotního rozsahu jsou primárně komponenty vizualizačního subsystemu. Zařízení nicméně bylo dlouhodobě testováno pod povoleným rozsahem uváděným výrobcem v manuálu bez zjevných známek opotřebení či zaznamenání sebemenší poruchy.

3.3.3 Senzor osvětlení

Jako senzor osvětlení byl použit fotorezistor LDR 5528. Závislost elektrického odporu na intenzitě relativního osvětlení tohoto senzoru je přibližně exponenciální. Převedením závislostí do logaritmických měřítek je výsledným průběhem přímka. Dosazením hodnot z datasheetu získáme lineární regresí směrnici přímky, a tím aproximované hodnoty. Takto získané hodnoty intenzity osvětlení nejsou příliš přesné.

Pro použití v dohledovém zařízení, kde řídicí systém rozhoduje o spínání IR přísvitů jsou však plně dostačující.

3.3.4 Senzor polohy elektromechanického zařízení

Pro správnou funkci a optimální dosah senzorů perimetrické ochrany je třeba zajistit optimální nastavení úhlu fresnelovy čočky v závislosti na jejich výškovém umístění. Konkrétně pro senzory Paradox PRO Pet je povolený rozsah vertikální instalace pevně daný konstrukcí pouzdra na 1000-3500 mm. V základním nastavení dohledového zařízení je úhel fresnelovy čočky nastaven na výšku 2500 mm. V případě detekce odlišné instalační výšky senzorem polohy elektromechanického zařízení lišící se o více než 500 mm je uživatel na tuto skutečnost upozorněn varovným hlášením v uživatelském rozhraní.

Senzor polohy má však pouze informativní charakter. Neexistuje zpětná vazba mezi senzorem polohy a senzory perimetrické ochrany. Nastavení optimálního úhlu čočky pro správnou funkci senzorů je třeba provést manuálně na jednotlivých senzorech zvlášť.

3.3.5 Senzor natočení servopohonu

Senzor natočení servopohonu je součástí pouzdra akčního členu. Je realizován odporovým snímačem polohy, kde je změna polohy převedena na změnu odporu, resp. napětí. Původně sloužil senzor natočení k detekci otevření ventilu v rozsahu 0-270°. Pro potřeby elektromechanického dohledového zařízení se tak musela odporová dráha senzoru mírně modifikovat. Úprava spočívala v přerušení dráhy v místech, kde byl odpor konstantní 270-360°, vznikl tak vztažný bod pro polohu nazvaný P0. Následně byly odečteny hodnoty pro body P1, P2 a P3, vždy posunuté o 90°. Indikace sestupné hrany snímače polohy v bodě P0 je v závislosti na směru otáčení využívána k inkrementaci, popřípadě dekrementaci čítače otáček.

3.4. Napájecí podsystém

Na dohledový systém je jako na přenosné akumulátorové zařízení kladen požadavek na maximální dobu provozu na jedno nabití. Zároveň by toto nabíjení mělo být co nejrychlejší, aby prodleva v zabezpečení perimetru byla co nejmenší.

3.4.1 Akumulátor

S ohledem na požadované parametry byla zdrojem dohledového zařízení zvolena dvojice paralelně řazených Li-pol (lithium-polymerových) dvoučládkových akumulátorů o nominálním napětí 7,4 V a jednotlivé kapacitě 5000 mAh. Li-pol akumulátor byl vybrán pro svou vysokou energetickou hustotu, nízké samovybíjení a možnost rychlého nabíjení s hodnotami nabíjecího proudu až 4 C. Sestavu akumulátorů dohledového zařízení o celkové kapacitě 10 Ah je tak možno s vhodnou mikroprocesorovou nabíječkou nabít za méně než hodinu. Nemalou výhodou je též absence paměťového efektu, dlouhá živostnost a přijatelný teplotní rozsah výrobcem udávaný v rozmezí -10 až +50°C. Testováním bylo zjištěno, že ani poklesem pod tento dovolený rozsah nedochází k blokování akumulátoru typickým pro NiMH a NiCd.

3.4.2 Odpojovač zátěže při podpětí

V předchozí kapitole byly vyzdviženy přednosti použitých akumulátorů dohledového zařízení. Jistým handicapem článků na bázi lithia je jejich citlivost na nadměrné vybití. Podvybitím na úroveň 2,75 V až 2,5 V dochází k nenávratnému zničení článku v podobě vyhoření. Přestože je indikace stavu baterie zobrazena v uživatelském rozhraní a možnost podvybití je ošetřeno v programovém vybavení, bylo zapojení rozšířeno o hardwarový odpojovač zátěže při podpětí.

Základem je CMOS operační zesilovač zapojený jako komparátor s hysterezí. Jako zdroj referenčního napětí byla použita dioda 1,235 V. Napětíový dělič R1 a R2 určuje vypínací napětí a hodnota rezistoru R5 stanovuje velikost hystereze. Maximální proud do zátěže je stanoven dle použitého tranzistoru IRF9Z34N na 3 A. Celkový odběr odpojovače zátěže ve vypnutém stavu se pohybuje kolem 10 uA, což představuje asi 7,5 mAh měsíčně.

3.4.3 Napájecí obvody

Dohledové zařízení pracuje se třemi velikostmi napájecího napětí. Vizualizační podsystém, akční člen a pohybová čidla pracují s napětím 12 V, řídicí podsystém a většina senzorického podsystému je napájena hodnotou 5 V a BT zařízení pracuje s 3,3 V. Vzhledem k tomu, že bylo dohledové zařízení koncipováno jako bateriové, byl při konstrukci kladen důraz na maximální účinnost napájecího obvodu. Během vývoje se

z hlediska energetické účinnosti nejlépe osvědčila kombinace stejnosměrného DC/DC step up měniče zvyšujícího napětí akumulátoru a dvojice lineárních stabilizátorů.

Měnič je realizován integrovaným obvodem XL6009E1 a pracuje v závislosti na zatížení s účinností 86% až 92 %, přičemž účinnost roste se zvyšujícím se odběrem. IO je druhou generací step up měničů s konstantní spínací frekvencí 400 kHz. Zpětnovazební zapojení reaguje na pokles vstupního napětí způsobený vybíjením akumulátoru, přičemž zvlnění výstupního napětí se pohybuje v hodnotách do 20 mV.

Mikrokontrolér, senzorické a komunikační subsystémy jsou napájeny z dvojice lineárních stabilizátorů připojených na akumulátor. Energetická účinnost stabilizace je poměrně nízká, pohybující se okolo 60 %, respektive 40 % v případě BT zařízení. Nicméně proudový odběr těchto subsystémů je v porovnání se subsystémy připojenými na měnič 20 krát menší a tak úspora získaná případným použitím step-down měniče je zanedbatelná.

3.5. Akční člen

Akčním členem je u elektromechanického zařízení míněna soustava stejnosměrného motoru GENIII hongkongské firmy Johnson electric a ovládacího motorového H-můstku integrovaného v obvodu L293D.

Pouzdro akčního členu GENIII obsahuje vedle 12 V motoru převodovku s převodovým poměrem 427:1 a v předchozích kapitolách popisovaný senzor natočení servopohonu. Při nominálním zatížení v dohledovém zařízení je proudový odběr soustavy 16 mA a rychlost otáčení 8 rpm. Dle datasheetu výrobce je maximální točivý moment soustavy až 170 Ncm.

Obvod L293D obsahuje dvojici úplných H-můstků řízených logickými signály řídicího podsystému v TTL úrovni. Umožňuje reverzaci motoru, brždění, volné protáčení a s využitím PWM modulace i regulaci otáček. Napájení připojených motorů se může pohybovat od 4,5 V do 36 V, přičemž každý z H-můstků je schopen dodat do zátěže proud až 500 mA.

3.6. Komunikační řetězec

Operátorské rozhraní na osobním počítači je s dohledovým zařízením propojeno prostřednictvím bezdrátové technologie Bluetooth verze 4.0 BLE. K vytvoření

komunikačního řetězce je na straně dohledového zařízení použito BT modulu cB-OLP425x-04, na straně operátorského panelu modulu OSB421x od firmy connectBlue. Využitím implementovaného protokolu RFCOMM dochází k emulaci virtuální sériové linky RS232, respektive nízkoenergetického UART.

K nastavení požadovaných parametrů BT zařízení bylo použito programového vybavení dodávaného výrobcem Toolbox Bluetooth Serial Port Adapter. Dle požadovaného nastavení vygenerovaná posloupnost AT příkazů zobrazena na obr. 3.2 byla do modulu nahrána prostřednictvím sériové linky.

OSB421	Zařízení typu central
AT*AGLE=1,1	BT Low energy mode
//Nastaví zařízení BLE na typ central, povolí nastavení	
AT*ADDCP=14,1	Client Profile
//Nastaví profil zařízení na SPP BLE, uloží nastavení	
AT*ADNRP=1,1	No. Of Remote Peers
//Počet současných spojení, uloží nastavení	
AT*ADWDRP=0,e0c79d6da414,16842752,0,"",1	
Remote Profile connect_scheme	
//Základní konfigurace SPP, adresa druhého BT zařízení, modul se pokusí navázat spojení v případě, že se na sériové lince objeví data, interval mezi pokusy o spojení 1s, doba trvání pokusu o spojení 0,08s, název zařízení, potvrzení modulem po úspěšném akceptování příkazu	
AT*AMRS=5,1,1,1,2,0,1	RS232 Settings
//baudrate (9600 Bd), databits(8)stopbit(1), parita(bez parity), CTS/RTS(nepoužito), nové nastavení po resetu, uložit	
OLS425	Zařízení typu Periferie
AT*AMRS=5,1,1,1,2,0,1	RS232 Settings
//viz. Předchozí nastavení, nastaveno defaultní-Periferie	

obr. 3.2 Posloupnost AT příkazů

Celková spotřeba BT modulu je dána součtem spotřeby v online módu 8,2 mA, kdy je navázána komunikace s protě stranou a spotřeby ve stop módu, která je dána podílem periody v režimu spánku 7,5 uA a inzercí možného spojení trvající 7,2 ms se spotřebou 7,3 mA. V komunikačním řetězci dohledového zařízení se inzerce provádí každých 1000 ms, přičemž každých 5 s dochází k navázání spojení a odeslání stavových veličin.

Druhá část komunikačního řetězce je kvůli možnosti absence podpory Ad-hoc u síťových adaptérů, případně celkové absenci wifi modulu, např. u stolního počítače, na straně operátorského rozhraní tvořena USB-Wifi adaptérem TP-Link TL-WN722P. Externí adaptér společně s operátorským rozhraním tvořeným bezdrátovým wifi routerem TP-Link TL-WR741ND vytváří přístupový bod AP (Access point) Ad-hoc sítě pro připojení vizualizačního systému.

3.7. Vizualizační systém

Vizualizační systém je realizován bezdrátovou síťovou kamerou Edimax IC-3100W s obrazovým snímačem typu CMOS o velikosti 1/4 palce. Jedná se o všestranné monitorovací zařízení s maximálním rozlišením 1,3Mpix, což odpovídá 1280x1024 podporující vysokorychlostní komprimaci videa ve třech režimech H.264, MPEG-4 a M-JPEG. Před objektivem kamery se světelností objektivu 2,8 f je předřazen IR filtr umožňující, v případě zapnutí přísvitu, snímání střeženého prostoru při zhoršených světelných podmínkách či dokonce v absolutní tmě. Uvnitř kamery je umístěn slot pro SDHC/SD kartu, který slouží jako místní uložení snímků a videosekvencí v případě výpadku bezdrátového spojení. Kamera Edimax IC-3100W podporuje sadu síťových protokolů UPnP (Universal plug and play) a DDNS (Dynamic domain name system) umožňující vzdálené monitorování prostřednictvím mobilních zařízení s přístupem k síti. Zařízení je pro případný obousměrný přenos audio signálu vybaveno mikrofonom a výstupem na reproduktor, což může sloužit například ke komunikaci obsluhy s narušitelem. V dohledovém zařízení je kamera nastavena jako koncové zařízení připojené ke komunikačnímu řetězci, respektive hardwarovému wifi routeru, prostřednictvím síťového adaptéru.

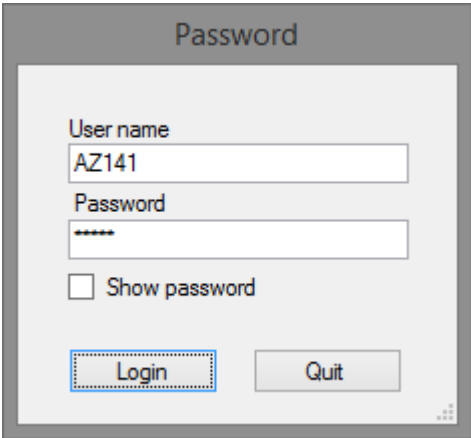
Při hledání alternativy k hardwarovému routeru z důvodu úspory energie se během realizace operátorského rozhraní experimentovalo s použitím softwarového routeru vytvořeného, jak za pomoci „Průvodce vytvoření ad-hoc sítě“ implementovaného do operačního systému Windows, případně použitím příkazové řádky, tak freewarem Connectify verze 3.5. Bohužel očekávaný přínos v podobě úspory energie, zjednodušení komunikačního řetězce, a tím i snížení ceny předčilo výrazné zhoršení přenosových parametrů, konkrétně přenosové rychlosti a dosahu wifi sítě.

4. Ovládací software dohledového zařízení

K vytvoření ovládacího softwaru řídicího podsystemu dohledového zařízení SurveillanceSystem bylo použito integrovaného vývojového prostředí Microsoft Visual Studio 2012 za použití programovacího jazyku C# pod .NET Framework. Projekt typu Windows Forms Application je rozdělen na čtyři samostatné formuláře.

4.1. Form Password

Po spuštění aplikace SurveillanceSystem se jako první zobrazí formulář Password. Jedná se o jednoduchou třídu, jejíž funkce porovnávají text napsaný do řádků User name a Password s textem uloženým do paměti programu.



obr. 4.1 Form Password

Přihlašovací údaje je možné psát při zaškrtnutém checkboxu Show password skrytě. Po stisknutí tlačítka Login v případě shodných údajů dochází k otevření hlavního okna Surveillance systém.

4.2. Form Surveillance system

V hlavním formuláři je realizováno připojení k virtuálně emulovanému sériovému portu. Ve standartním režimu vybere obsluha číslo příslušného COM Portu a stiskne tlačítko Connect. Provede se defaultní nastavení portu s přenosovou rychlostí 9600 Bd, 8 datových bitů, bez parity s jedním stop bitem a bez řízení toku dat. Pro účely testování je aplikace doplněna tlačítkem Setting, jenž zpřístupní skrytou část programu umožňující změnu standartních parametrů. Po úspěšném spárování zařízení je zavolána funkce SensorInfo, při níž dochází k výměně dat mezi operátorským prostředím a dohledovým zařízením. Po ověření připojení je obsluze zobrazen panel Mode select, který umožňuje

volbu automatického či uživatelského módu. Pro případy, že se zařízení nachází mimo dosah BT zařízení nebo došlo k výběru špatného portu, je programová aplikace ošetřena podmínkami zamezujícími zacyklení nebo pád programu. V případě chyby dojde po stanoveném časovém úseku k vyvolání chybového hlášení a odpojení portu, případně restartování programu.

The image displays two screenshots of a software application titled "Surveillance system".

The top screenshot shows the "Setting" tab. On the left is a vertical menu with buttons: "Connect", "Disconnect", "Setting", "About...", and "Quit". The "Setting" tab contains several configuration options, each with a label and a dropdown menu:

- COM Port: COM6
- Data Bits: 8
- Stop Bits: 1
- Baud Rate: 9600
- Parity: None
- Handshaking: None

The bottom screenshot shows the "About..." tab. The left menu is identical. The "About..." tab contains a "Mode select" section with two buttons: "Automatic mode" and "Self control".

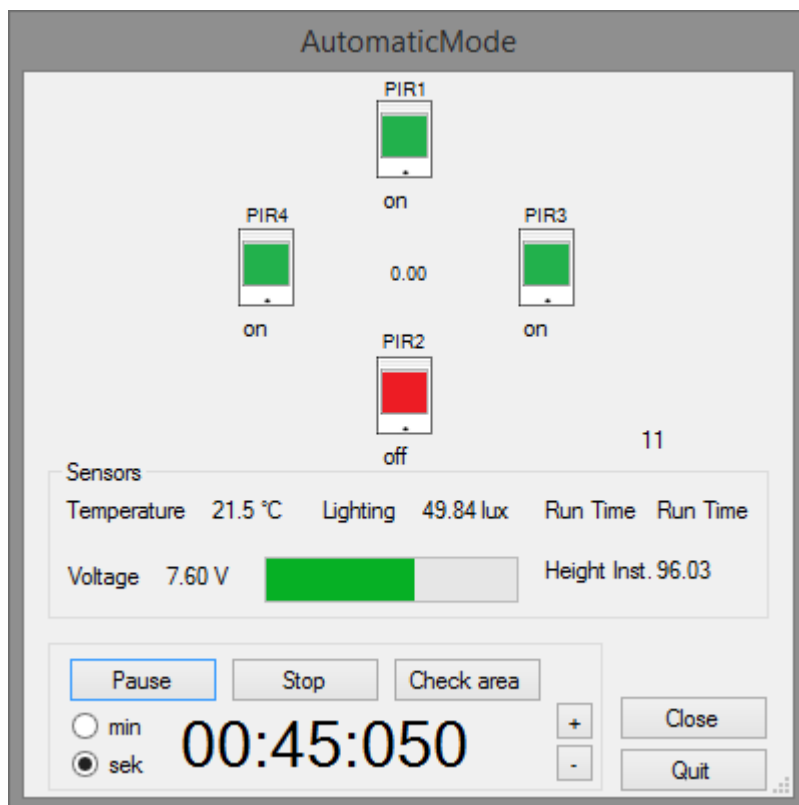
obr. 4.2 Form Surveillance system

4.3. Form AutomaticMode

Dohledové zařízení bylo navrženo, aby po většinu času pracovalo právě v automatickém režimu. Po otevření formuláře AutomaticMode jsou obsluze k dispozici informace o okamžitém stavu zařízení a jeho pracovním prostředí. Kliknutí na ikonu PIR čidla dochází k jeho aktivaci či případně deaktivaci. Takto lze přesně vymezit požadovaný perimetr zabezpečení.

Stisknutím tlačítka Secure se aktivuje odpočet zbývajících do zabezpečení střeženého prostoru. Standardně je z důvodu zavedení programu, ustálení a vyhodnocení čidel odpočet nastaven 45 sekund. Hodnotu je však v případě potřeby možné nastavit

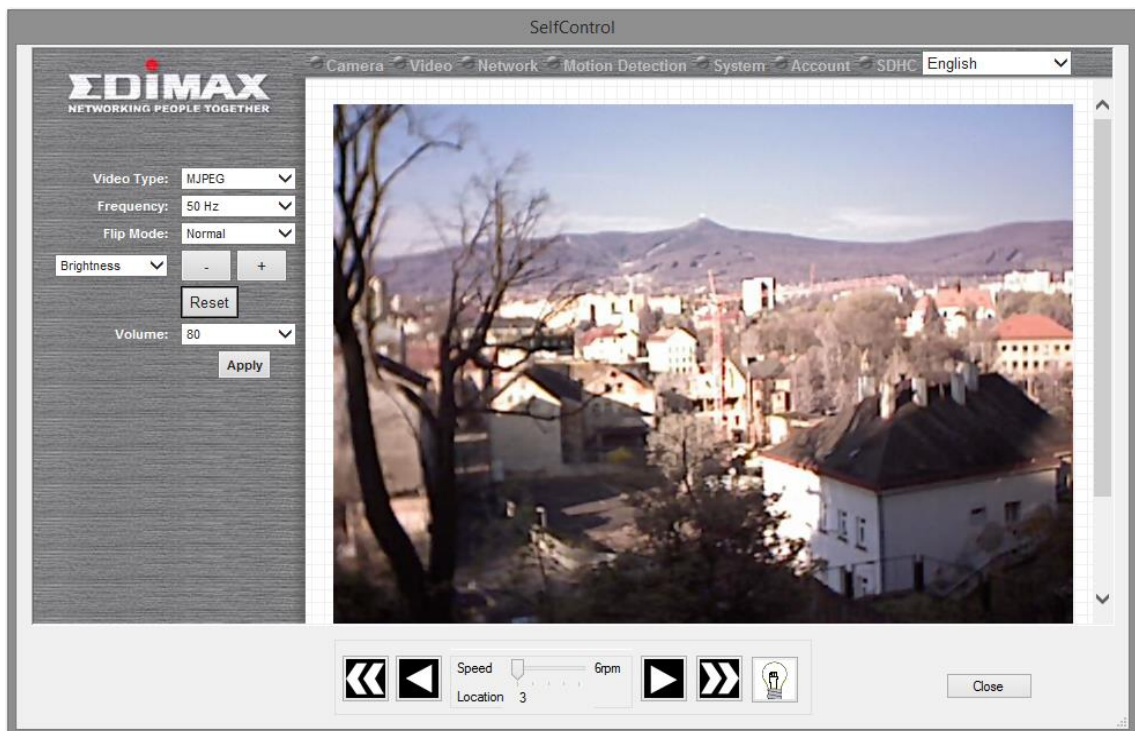
s odkladem až o jednu hodinu. Již běžící odpočet lze navíc pozastavit tlačítkem Pause, či případně jej zcela zrušit tlačítkem Stop. Narušení daného sektoru střeženého prostoru je v aplikaci indikováno v podobě výstražného audiovizuálního upozornění. Kamera se automaticky natočí na místo, na kterém bylo indikováno narušení a obsluha je vyzvána k zobrazení daného narušení v manuálním režimu.



obr. 4.3 Form AutomaticMode

4.4. Form SelfControl

Pro monitorování střeženého prostoru v případě narušení, případně kontrole před samotným spuštěním automatického režimu slouží třída SelfControl. Na formuláři nalezneme tlačítka pro směrové natáčení kamery, trackbar pro nastavování rychlosti otáčení a tlačítko pro zapínání IR přísvitu. Počet otočení je z důvodu pevného propojení napájení vizualizačního systému a IR přísvitu se základnou, omezen na tři celé otáčky. Poté je uživatel na tuto skutečnost upozorněn a otáčení je již umožněnou pouze na opačnou stranu.



obr. 4.4 Form SelfControl

Po kliknutí na panelVideo je vyvolána komponenta webBrowser pracující s vykreslovacím jádrem IE, jejíž vlastnosti Url předáváme adresu webové stránky. Konkrétně v našem případě je to IP adresa kamery <http://192.168.2.3>. Této vlastnosti předáváme instanci třídy Uri, jejíž konstruktor zadává adresu stránky ve formátu textu, jak je zobrazeno na ukázce zdrojového kódu webBrowser na obr. 4.5. Takto dochází k propojení webového prohlížeče operátorského rozhraní s vizualizačním subsystémem.

```
private void panelVideo_Click(object sender, EventArgs e)
{
    timerLoc.Enabled = false; //Přerušit timer lokalizace polohy
    panelVideo.Visible = false;
    int iLength = frm3.light.Length; //Zjistí délku řetězce intenzity osvětlení
    if (Int32.Parse(frm3.light.Remove(iLength - 4, 4)) <= 10)
    //Převádí řetězec na číslo, odstraní desetinnou část a porovná s min. intenzitou
    {LedValue = 16;} //Zapne přísvit
    frm3.SerialPort.Write("E"); frm3.SerialPort.Write("S"); //Escape sekvence
    frm3.SerialPort.Write("/" + (LedValue + 32).ToString()); // Zápis na port

    string AdresaBox = "http://192.168.1.3/index.asp";
    if (!string.IsNullOrEmpty(AdresaBox))
    {
        //ošetření AdresaBoxu, řetězec začínající na http://
        if (AdresaBox.StartsWith("http://"))
            webBrowser.Url = new Uri(AdresaBox);
        else
            webBrowser.Url = new Uri("http://" + AdresaBox);
    }
}
```

obr. 4.5 Ukázka zdrojového kódu webBrowser

5. Experimentální část

Po zkonstruování dohledového zařízení bylo zapotřebí změřit jeho výsledné parametry a ověřit tak splnění vytyčených cílů uvedených v zadání diplomové práce. Konkrétně se jednalo o změření reálného dosahu komunikačního řetězce složeného z bluetooth modulů a wifi zařízení a vyhodnocení jejich vzájemné elektromagnetické kompatibility. Následovalo ověření detekčního dosahu infračervených senzorů perimetrické ochrany s posouzením jejich vzájemných rušivých vlivů s komunikačním řetězcem. Na závěr experimentální fáze byla testována celková doba chodu při simulaci reálných podmínek.

Závěry z jednotlivých fází experimentální části jsou shrnuty v následujících kapitolách. Celkový protokol o měření je k dispozici v příloze.

5.1. Dosah komunikačního řetězce

K měření maximální možné vzdálenosti mezi operátorským rozhraním a dohledovým zařízením bez přerušení komunikačního řetězce byl použit elektro-optický dálkoměr ATN Ranger eye 1500 přesností ± 1000 mm. Experiment probíhal v téměř ideálních podmínkách na přímou viditelnost v prostředí s minimálním rušením v pásmu 2,4 GHz.

Dosahy bezdrátových technologií standardů IEEE-802.15.1 a IEEE-802.11 byly nejprve testovány odděleně, aby se eliminovala možnost vzájemného ovlivňování či případného rušení.

Přenos IP kamery byl při nastavené nejvyšší kvalitě obrazu a rozlišení 640x480 dostatečný do vzdálenosti 150 m. Za touto vzdáleností docházelo ke ztrátám snímků a zamrznutí obrazu. Snížením kvality obrazu a počtu přenášených snímků za sekundu se maximální vzdálenost prodloužila na 200 m.

Naměřené hodnoty přenosového řetězce BT se od datasheetových hodnot udávaných výrobcem diametrálně lišily. Výrobce u modulu OLS425 s interní anténou se ziskem 0 dB a výstupním výkonem 4 dBm (2,5 mW) tedy ve třídě Class1 uvádí dosah 200 m u OBS421 dokonce 300 m. U BT modulů komunikačního řetězce s externí anténou se ziskem 5 dBi byl naměřen maximální spolehlivý dosah ve vzdálenostech okolo 120 m.

Při souběžném testování obou bezdrátových přenosových technologií nedocházelo k vzájemnému rušení a potvrdila se tedy teorie z kapitoly 2.2.

5.2. Detekční dosah senzorů perimetrické ochrany

Experimentální měření probíhalo při třech stupních intenzity osvětlení s odlišnými teplotami okolního prostředí. Zařízení bylo instalováno ve výšce 2 m a na stejnou hodnotu byl nastaven i sklon fresnelových čoček. Detekční vzdálenost byla kolmá na PIR čidlo a byla měřena pomocí kalibrovaného měřicího pásma Extol.

Naměřená průměrná detekční vzdálenost se zvyšovala s klesající teplotou a snižující se intenzitou osvětlení. Zatímco za slunného dne o intenzitě 35000 luxů při teplotě 15 °C se pohybovala kolem 8 m, za soumraku při intenzitě osvětlení 3 luxy se jednalo již o téměř 11 m a tedy nárůst přibližně o 25%.

Během měření nebyly zaznamenány falešné poplachy způsobené vzájemným rušením s komunikačním řetězcem.

5.3. Doba chodu dohledového zařízení

Pro měření doby chodu byl stanoven poměr mezi automatickým režimem a manuálním režimem 12:1, tedy že na 1 hodinu Automatic modu při zapnutí všech PIR čidel připadá 5 minut v SelfControl modu s permanentním otáčením kamerou. Mezi akumulátor a napájecí svorky dohledového zařízení byl sériově zapojen multimetr Agilent 34450A. Změřená hodnota odebíraného proudu byla zprůměrována se vzorkovací periodou 1 minuty a následně jí byla podělena celková kapacita akumulátorů dohledového zařízení. Měření bylo prováděno s téměř vybitou baterií, tak aby účinnost step up konvertoru byla co nejnižší, a byly tak simulovány nejhorší možné podmínky.

Závěry a doporučení

Cílem diplomové práce „Aplikace standardu IEEE-802.15.1 v dohledovém systému“ bylo ověření realizovatelnosti konceptu na prototypu dohledového zařízení využívající nízkoenergetický standard Bluetooth 4.0 doplněný o vysokorychlostní standard IEEE 802.11. Vzhledem k předpokládanému využití prototypu byl kladen důraz na zvýšenou odolnost, intuitivní operátorské prostředí a jistou flexibilitu s množností modifikace funkcí při měnících se podmínkách.

Autora k výběru a uskutečnění diplomové práce vedly předchozí zkušenosti s bezdrátovou technologií Bluetooth 2.1, s návrhovým prostředím Eagle a návrhy desek plošných spojů s jejich následnou realizací. Přestože je Bluetooth 4.0 zpětně kompatibilní s předchozími verzemi, přináší nové možnosti a vylepšení, ale rovněž postrádá některé základní funkce svých předchůdců. Autor si tedy musel doplnit své znalosti v problematice konkrétního standardu.

Jednotlivé body diplomové práce zadané vedoucím práce byly splněny. Autor se seznámil se základy technologie Bluetooth ve všech aktuálních revizích a zároveň s dohledovými systémy pro exteriér a jejich technickými i organizačními prostředky. Jeho poznatky jsou shrnuty v druhé kapitole s názvem Analýza. Vybral a nastudoval BT moduly pro průmyslové aplikace firmy connectBlue cB-OLP425x-04 a použil je k vytvoření a nastavení bezdrátové komunikace s počítačem. Navrhl a realizoval desku plošného spoje řízenou mikrokontrolérem ATMEGA328 s připojenými senzory, řízeným akčním členem a připojeným kamerovým systémem. Na závěr autor vytvořil programové vybavení prototypu dohledového zařízení umožňující signalizaci narušení hlídaného perimetru, monitorování stavových informací a aktivaci přenosu videa s natáčením kamery a zapínáním IR přísvitů.

Přestože byly všechny vytyčené cíle diplomové práce splněny a výsledkem je funkční prototyp dohledového zařízení splňující požadované parametry, autor ve své koncepci stále spatřuje možnosti pro inovace a odstranění nutných kompromisů, na kterých bude po ukončení studia i nadále pracovat. Příkladem může být využití nových modulů podporujících formát Bluetooth 4.1, které po jejich uvedení na trh umožní vytvářet buňky scatternet, které eliminuje problémy s pevným spojením základny a otočného kamerového zařízení. Autor vidí další případné rozšíření konceptu v možnostech využití inteligentního počítačového vidění, což by zredukovalo počty falešných poplachů na minimum.

Seznam použité literatury

[1] BLUETOOTH SIG. [online]. [cit. 2015-05-03].

Dostupné z: [http:// www.bluetooth.com/](http://www.bluetooth.com/)

[2] HEYDON, Robin. Bluetooth low energy: the developer's handbook. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2012, 345 s. ISBN 978-013-2888-363.

[3] GRATTON, Dean A. /Developing practical wireless applications/. Boston: Elsevier Digital Press, 2007, 280s. ISBN 978-155-5583-101.

[4] BLUETOOTH [online]. [cit. 2015-05-03]. Dostupné z:

<http://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>

[5] BLUETOOTH 4.0 Low Energy Technology [online]. [cit. 2015-05-03].

Dostupné z: <http://www.bluetooth.com>

[6] Bluetooth Low Energy Technology/ [online]. [cit. 2015-05-03].

Dostupné z: <http://www.connectblue.se>

[7] Datasheety perspektivních Bluetooth modulů

[8]Atmel: 8-bitMicrocontroller *ATmega323*. [online]. [cit. 2015-05-03]. Dostupné z:

<http://www.atmel.com/products/microcontrollers/avr/default.aspx?tab=documents>

[9] PLÍVA, Zdeněk a Jindra DRÁBKOVÁ. Metodika zpracování diplomových, bakalářských a vědeckých prací na FM TUL. Vyd. 1. Liberec: Technická univerzita, 2007, 40 s. ISBN 978-80-7372-189-3.

[10] FRADEN, Jacob. Handbook of Modern Sensors. Třetí vydání. New York :

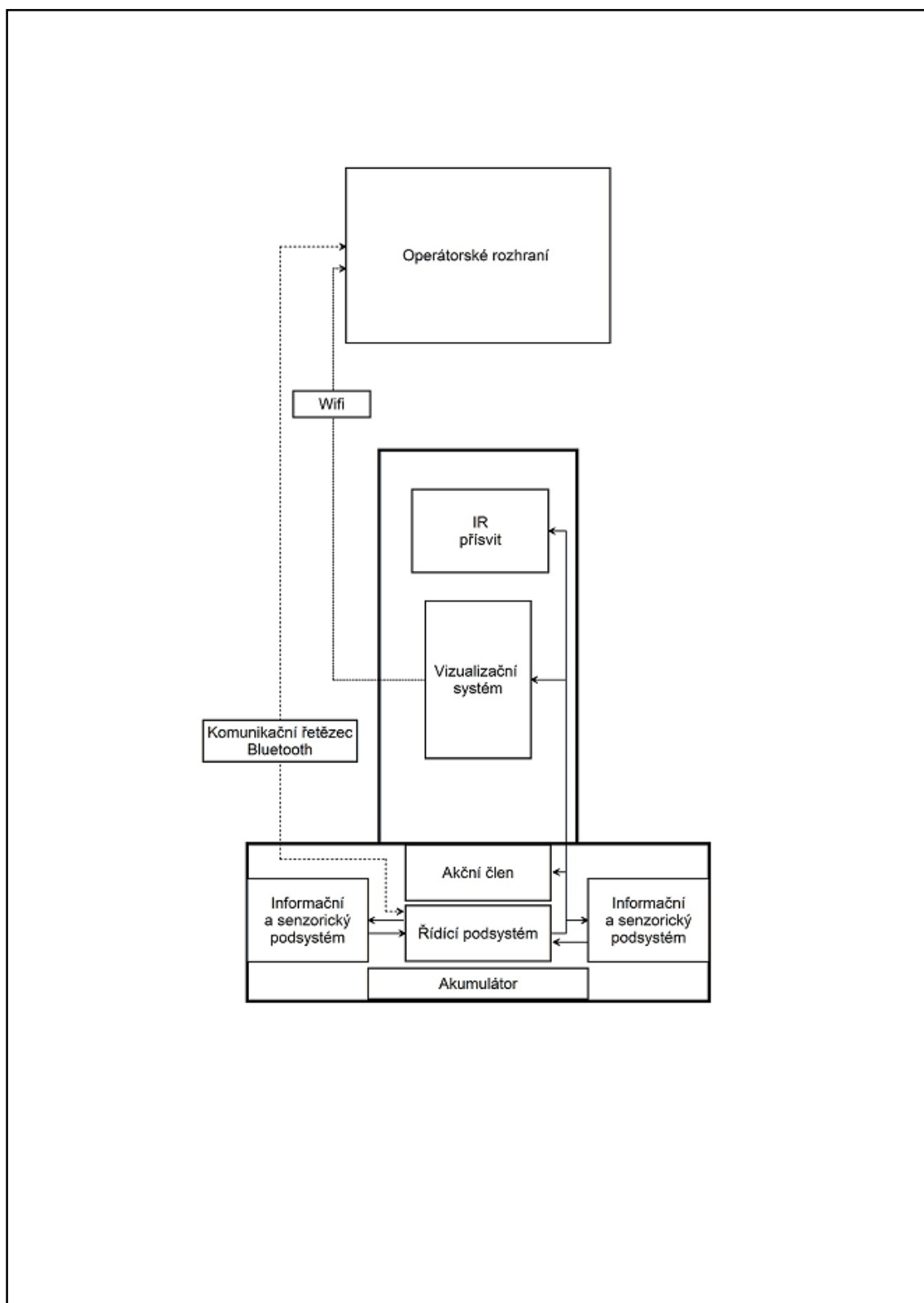
Springer - Verlag, Inc., 2004. 589 s. ISBN 9780387007502

[11] KŘEČEK, Stanislav. Příručka zabezpečovací techniky. Vyd. 2. S.l.: Cricetus, 2003, 351 s. ISBN 80-902-9382-4.

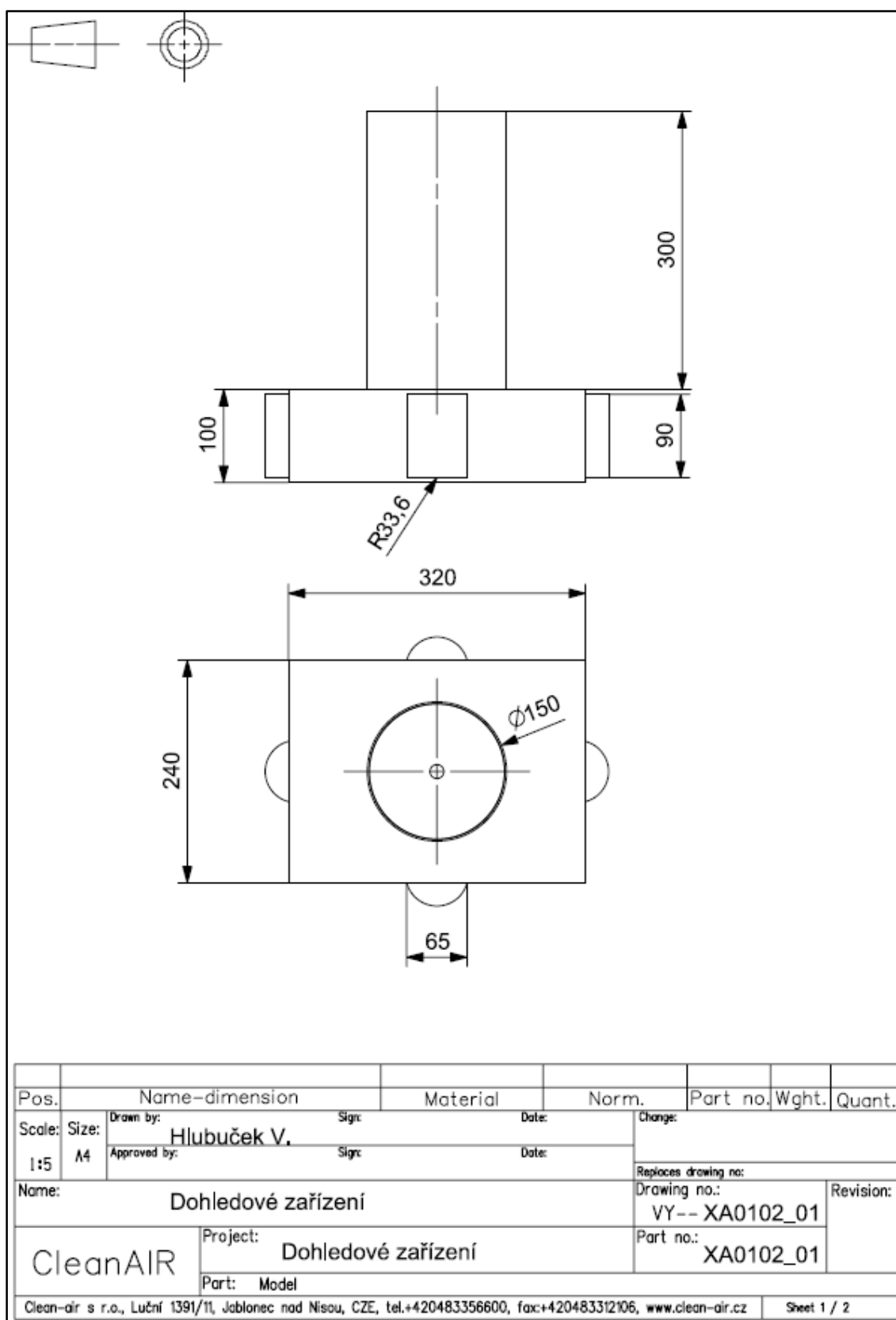
Příloha A: Profily BT4.0

Profil	Název	Popis
ANP	Alert Notification Profile	Umožňuje Client zařízení přijímat různé typy záznamů, událostí a poskytuje informace o počtech nových záznamů a nepřečtených položek v Server.
ANS	Alert Notification Service	Definuje typy záznamů, obsahuje rozšiřující informace jako je ID volajícího.
BAS	Battery Service	Vyvolává informace o stavu baterie.
BLP	Blood Pressure Profile	Umožňuje zařízení spojení se senzory krevního tlaku.
BLS	Blood Pressure Service	Definuje způsob vystavení informací a zpráv ze senzorů krevního tlaku.
CTS	Current Time Service	Definuje, jakým způsobem BT zařízení vystavuje hodnotu aktuálního času jinému BT zařízení.
DIS	Device Information Service	Zpřístupňuje technické informace od výrobce zařízení.
FMP	Find Me Profile	Po stisknutí tlačítka na zařízení dojde k vyhledání a případnému spojení s BT zařízením.
HTP	Health Thermometer Profile	Komunikace s teplotním čidlem ve zdravotnických aplikacích.
HTS	Health Thermometer Service	Zpřístupňuje teploty a další data z teploměrů.
HRP	Heart Rate Profile	Připojení BT zařízení ke snímači tepové frekvence.
HRS	Heart Rate Service	Vystavuje informace ze snímače tepové frekvence.
IAS	Immediate Alert Service	Vytváří kontrolní bod, který okamžitě upozorní všechna zařízení v dosahu.
LLS	Link Loss Service	Definuje cování při ztrátě mezi dvěma zařízeními.
NDCS	Next DST Change Service	Informace o nadcházející změně letního času.
PASP	Phone Alert Status Profile	Umožňuje uživatele upozornit na kritický stav mobilního telefonu.
PXP	Proximity Profile	Umožňuje monitorovat vzdálenost mezi dvěma zařízeními.
RTUS	Reference Time Update Service	Definuje jak může Client požádat o aktualizace z referenčního časového serveru.
TIP	Time Profile	Umožňuje zařízení ovládat funkce související s časem.
Tx Power Service	Tx Power Service	Informuje o současných úrovních vysílacího výkonu zařízení.

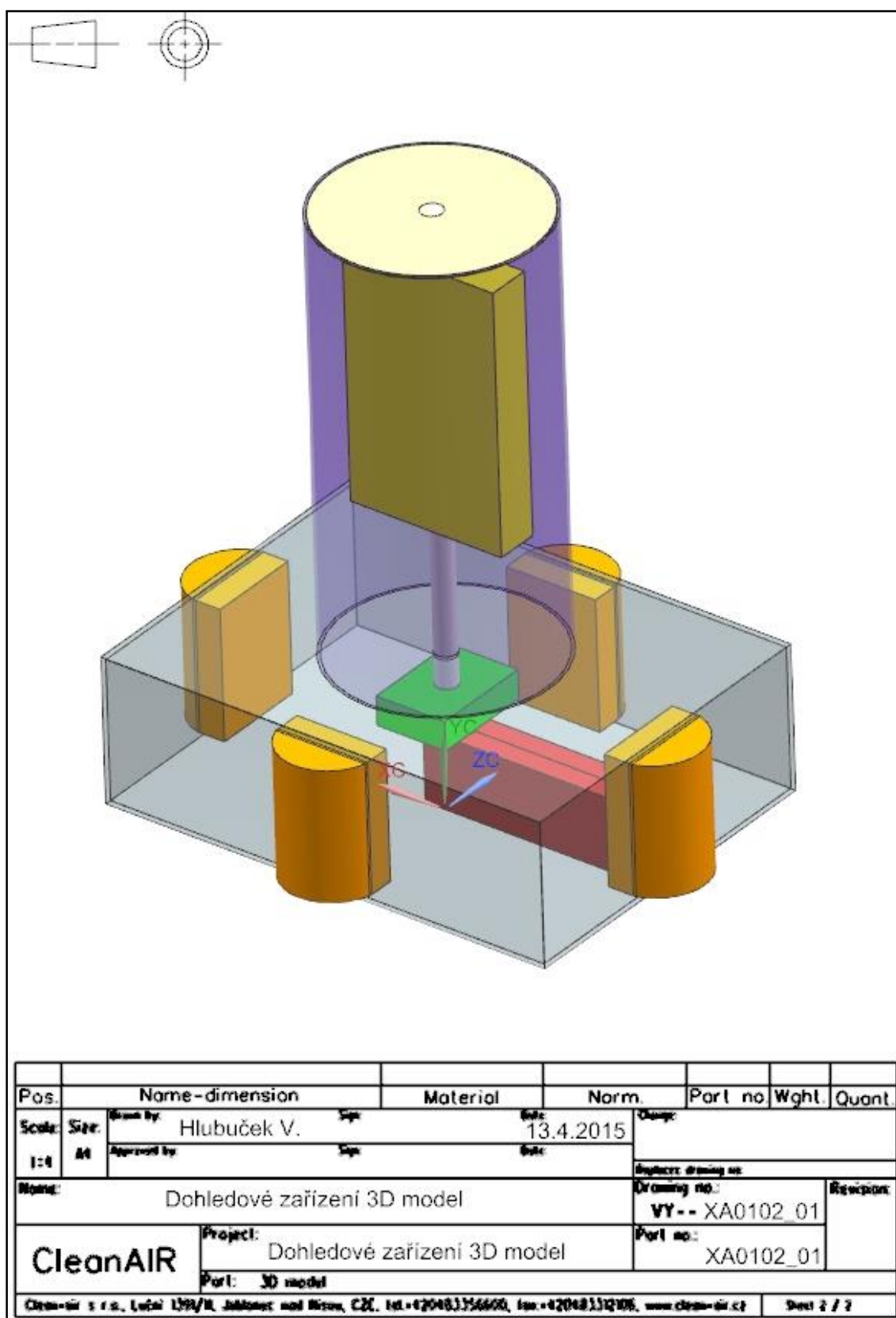
Příloha B: Ideové schéma zapojení



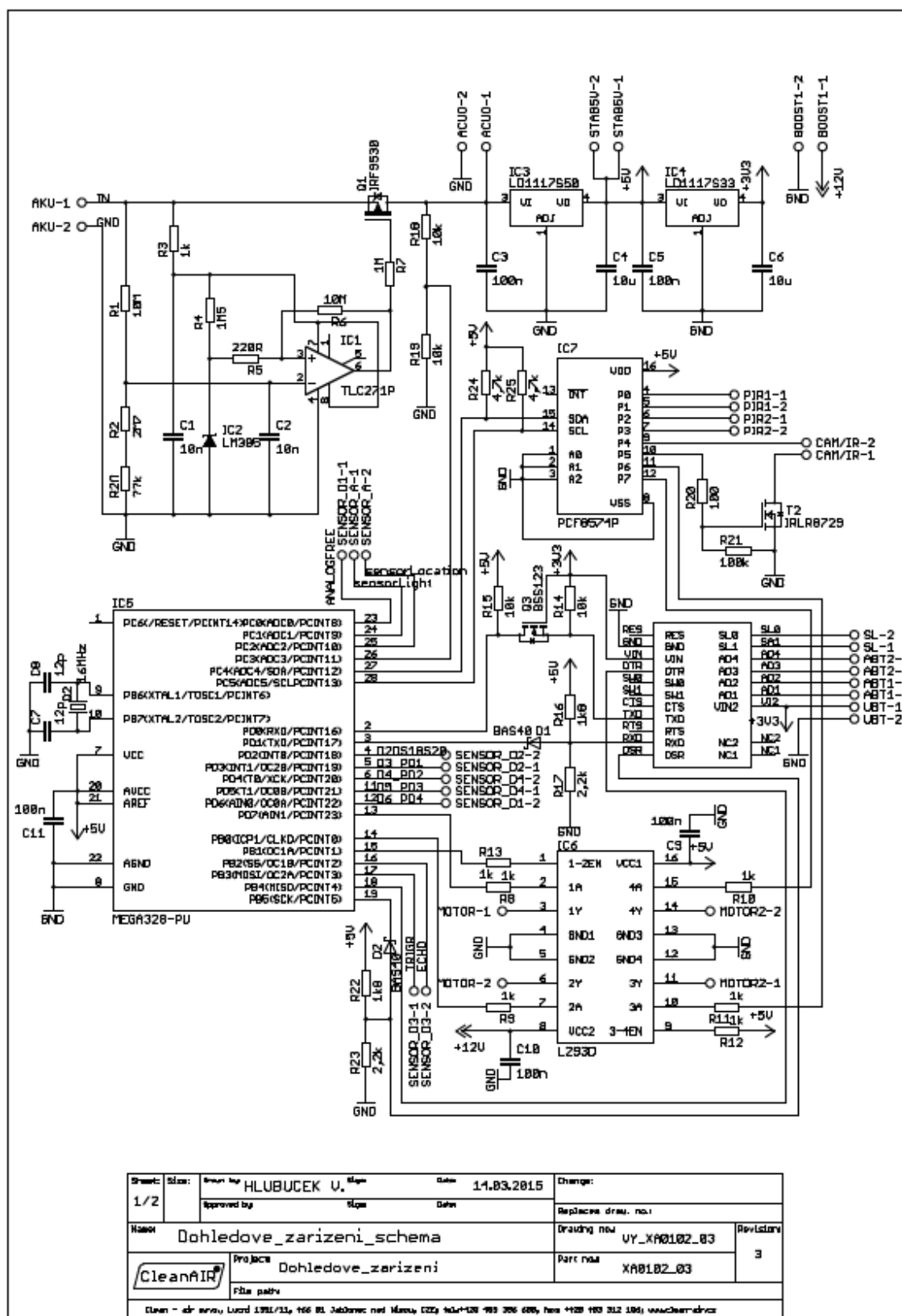
Příloha C: Výkres dohledového zařízení



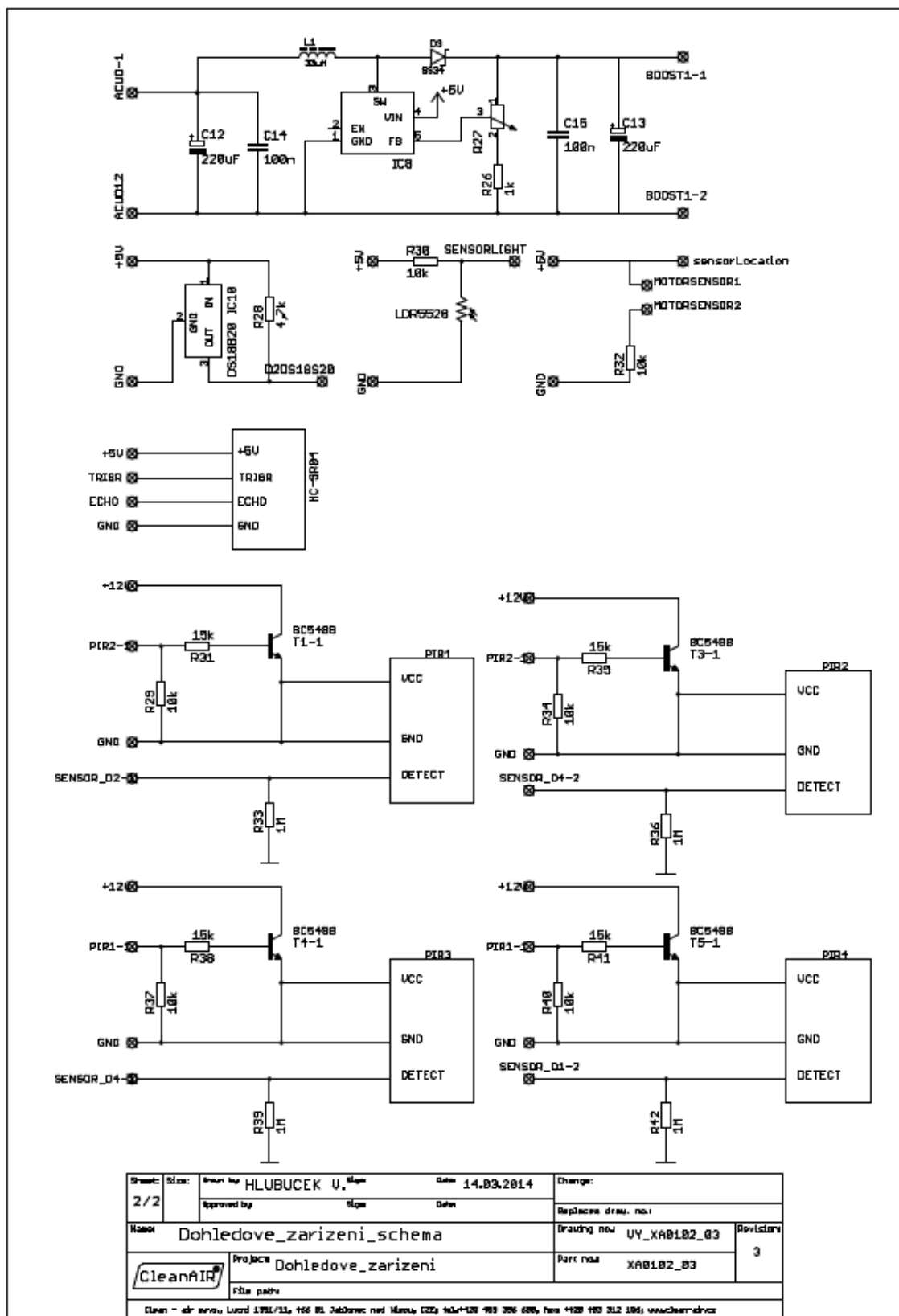
Příloha D: 3D model dohledového zařízení



Příloha E: Schéma zapojení 1

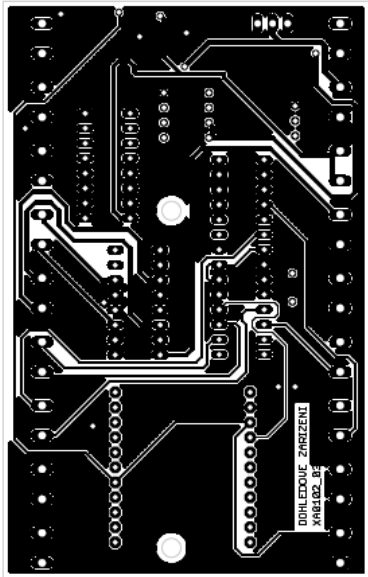


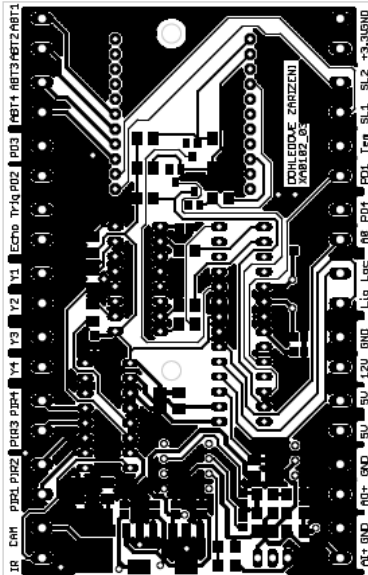
Příloha F: Schéma zapojení 2



Příloha G: Hladiny top a bottom

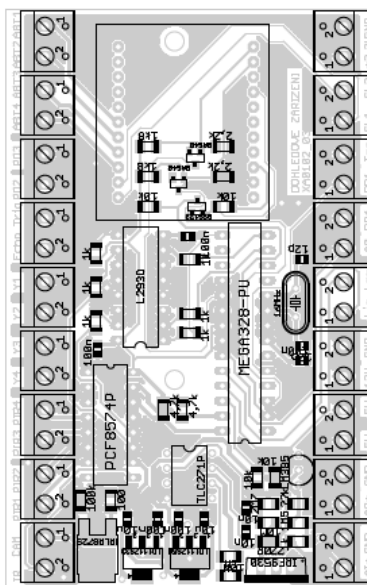
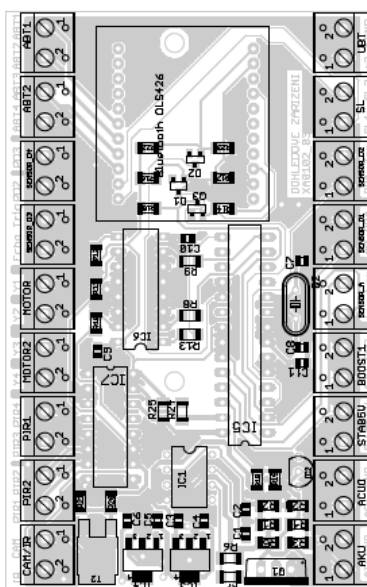
Bottom/Top layer


The image shows the top layer of a printed circuit board (PCB) layout. It features a complex network of white conductive traces on a black background. Numerous circular pads and rectangular footprints are distributed across the board, indicating the locations for components. A label in the bottom right corner reads "DOHLEDKOVE ZARIZENI" and "XA0102_03".

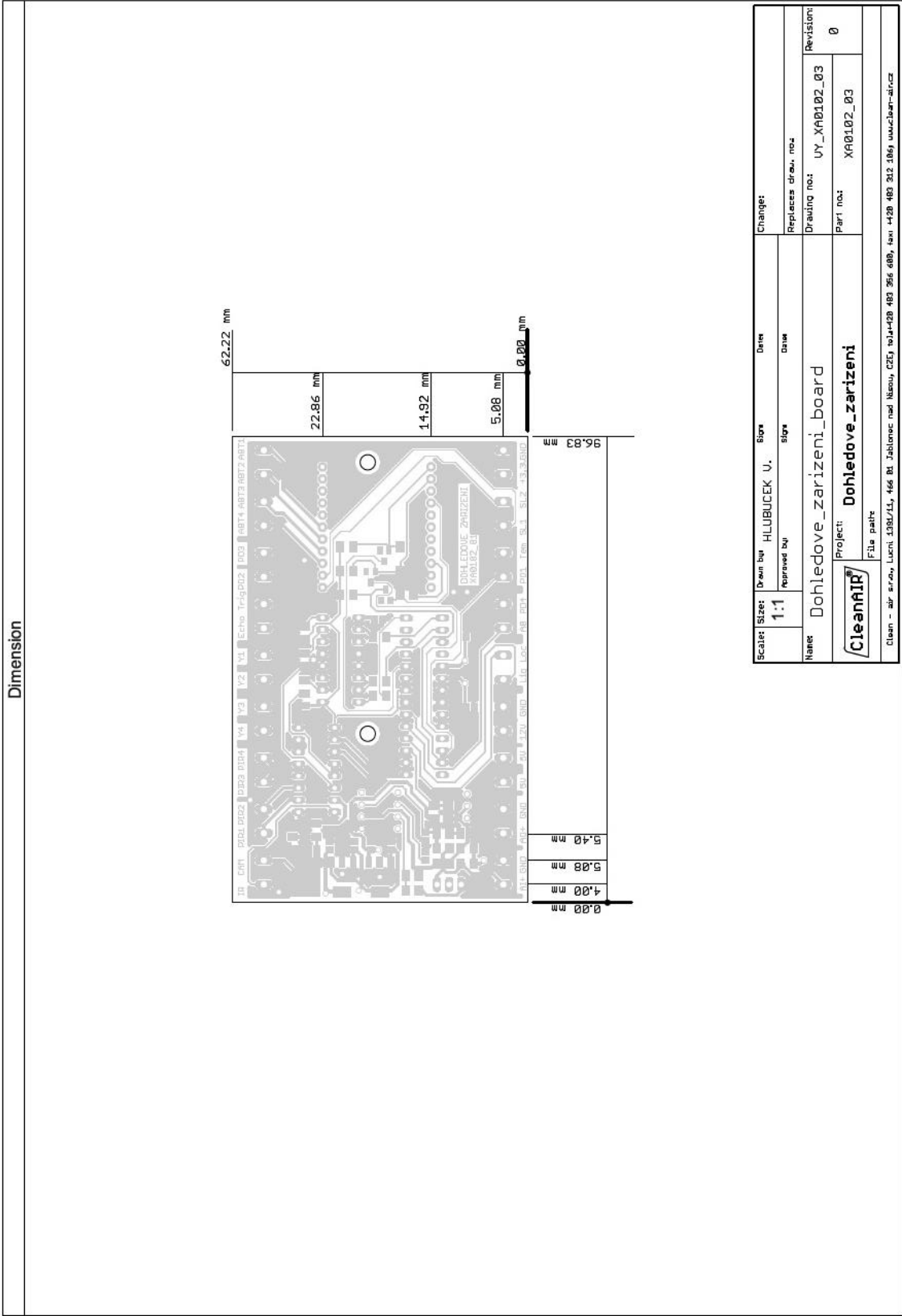
The image shows the bottom layer of the PCB layout. It features a complex network of white conductive traces on a black background. Numerous circular pads and rectangular footprints are distributed across the board, indicating the locations for components. A label in the bottom right corner reads "DOHLEDKOVE ZARIZENI" and "XA0102_03".

Scale:	Size:	Drawn by:	HLUBUCEK U.	Sign:	Sheet:	Change:
	1:1	Approved by:		Sign:	Sheet:	
Names						
Dohledove_zarizeni_board			Drawing no:			
Project:			UY_XA0102_03			
Revision:			Part no:			
3			XA0102_03			
Clean - air s.r.o., Lucni 1381/11, 466 01 Jablonec nad Nisou, CZ, tel: +420 483 366 680, fax: +420 483 312 186, www.clean-air.cz						

Component name and value - Top



	Names		Dohledove_zarizeni_board		Project: Dohledove_zarizeni		Revision: 3		
	Scale: 1:1		Size: 1:1		Drawn by: HLUBICEK V.		Drawing no: VY_XA0102_03		
	Approved by:		Sign:		Date:		Replaces draw. no.:		
File path:								Change:	
Clean - air - azo, Licet 1381/11, 466 B1, Jablonce nad Nisou, CZ, tel: +420 463 265 600, fax: +420 463 212 106, www.clean-air.cz									



Příloha J: Kusovník

Part	Value	Device	Package	Part	Value	Device	Package
ABT1		W237-02P	W237-132	PIR2		W237-02P	W237-132
ABT2		W237-02P	W237-132	Q1	IRF9530	IRF9530	TO220BV
ACUO		W237-02P	W237-132	Q2	16MHz	CRYSTALHC49S	HC49/S
AKU		W237-02P	W237-132	Q3	BSS123	BSS123	SOT23
BOOST1		W237-02P	W237-132	R1	10M	R-EU_M1206	M1206
C1	10n	C-EUC0805	C0805	R2	2M7	R-EU_M1206	M1206
C2	10n	C-EUC0805	C0805	R2'	??k	R-EU_M1206	M1206
C3	100n	C-EUC0805	C0805	R3	1k	R-EU_M1206	M1206
C4	10u	C-EUC0805	C0805	R4	1M5	R-EU_M1206	M1206
C5	100n	C-EUC0805	C0805	R5	220R	R-EU_M1206	M1206
C6	10u	C-EUC0805	C0805	R6	10M	R-EU_M1206	M1206
C7	12p	C-EUC0805	C0805	R7	1M	R-EU_M1206	M1206
C8	12p	C-EUC0805	C0805	R8	1k	R-EU_M1206	M1206
C9	100n	C-EUC0805	C0805	R9	1k	R-EU_M1206	M1206
C10	100n	C-EUC0805	C0805	R10	1k	R-EU_M1206	M1206
C11	100n	C-EUC0805	C0805	R11	1k	R-EU_M1206	M1206
CAM/IR		W237-02P	W237-132	R12	1k	R-EU_M1206	M1206
D1	BAS40	BAS40	SOT23	R13	1k	R-EU_M1206	M1206
D2	BAS40	BAS40	SOT23	R14	10k	R-EU_M1206	M1206
IC1	TLC271P	TLC271P	DIL08	R15	10k	R-EU_M1206	M1206
IC2	LM385	LM4041C12LP	LP_O-PBCY-W3	R16	1k8	R-EU_M1206	M1206
IC3	LD1117S50	317EMP	SOT223	R17	2,2k	R-EU_M1206	M1206
IC4	LD1117S33	317EMP	SOT223	R18	10k	R-EU_M1206	M1206
IC5	MEGA328-PU	MEGA48/168-PU	DIL28-3	R19	10k	R-EU_M1206	M1206
IC6	L293D	L293D	DIL16	R20	100	R-EU_M1206	M1206
IC7	PCF8574P	PCF8574P	DIL16	R21	100k	R-EU_M1206	M1206
MOTOR		W237-02P	W237-132	R22	1k8	R-EU_M1206	M1206
MOTOR2		W237-02P	W237-132	R23	2,2k	R-EU_M1206	M1206
P+1	+5V	+5V		R24	4,7k	R-EU_M1206	M1206
P+2	+5V	+5V		R25	4,7k	R-EU_M1206	M1206
P+3	+5V	+5V		SENSOR_A		W237-02P	W237-132
P+4	+12V	+12V		SENSOR_D 1		W237-02P	W237-132
P+6	+5V	+5V		SENSOR_D 2		W237-02P	W237-132
P+7	+5V	+5V		SENSOR_D 3		W237-02P	W237-132
P+8	+12V	+12V		SENSOR_D 4		W237-02P	W237-132
P+9	+5V	+5V		SL		W237-02P	W237-132
P+10	+5V	+5V		STAB5V		W237-02P	W237-132
P+11	+5V	+5V		T2	IRLR8729	BUK625R0-40C	SOT428
P+12	+5V	+5V		U\$1	BT_OLS426	BT_OLS426	BT_OLS426
PIR1		W237-02P	W237-132				

Příloha K: Protokol o měření

Protokol o měření																																																																																																																																							
Dosah komunikačního řetězce, PIR čidel a doba chodu zařízení																																																																																																																																							
Vpracoval :	Bc. Vojtěch Hlubuček	Datum měření:	3.5.2015																																																																																																																																				
Projekt:	Aplikace standardu IEEE-802.15.1 v dohledovém zařízení																																																																																																																																						
Podmínky měření:	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th></th> <th>Prostředí 1</th> <th>Prostředí 2</th> <th>Prostředí 3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Teplota :</td> <td>15°C</td> <td>20°C</td> <td>9°C</td> </tr> <tr> <td>Atm. Tlak :</td> <td>1012 hPa</td> <td>1012,2 hPa</td> <td>1009,6 hPa</td> </tr> <tr> <td>Vlhkost :</td> <td>62%</td> <td>55%</td> <td>87%</td> </tr> <tr> <td>Osvětlení :</td> <td>35000 lux</td> <td>100 lux</td> <td>3 lux</td> </tr> </tbody> </table>					Prostředí 1	Prostředí 2	Prostředí 3	Teplota :	15°C	20°C	9°C	Atm. Tlak :	1012 hPa	1012,2 hPa	1009,6 hPa	Vlhkost :	62%	55%	87%	Osvětlení :	35000 lux	100 lux	3 lux																																																																																																															
	Prostředí 1	Prostředí 2	Prostředí 3																																																																																																																																				
Teplota :	15°C	20°C	9°C																																																																																																																																				
Atm. Tlak :	1012 hPa	1012,2 hPa	1009,6 hPa																																																																																																																																				
Vlhkost :	62%	55%	87%																																																																																																																																				
Osvětlení :	35000 lux	100 lux	3 lux																																																																																																																																				
Použité přístroje:	ATN Ranger eye 1500, s/n:011500552 (rozsah 20-1500m ± 1m) Měřicí pásmo Extol, M057 (rozsah 0-25m ± 1mm) Infrared Thermometer VA6510, No:PSJ1458 Digitální termohygrobarmetr s externí sondou C4141 (M047) Tlakoměr SPA 512 RSUB D (M127) Agilent 34450A, s/n:M453130002, kalibrace 5990/2013																																																																																																																																						
Zadání:	1) Změřit detekční vzdálenost infračervených senzorů perimetrické ochrany, při různých okolních podmínkách. Při měření se zaměřit na závislosti osvětlení a teploty na dosahu. 2) Změřit na přímou viditelnost v nerušeném prostředí maximální dosah bezdrátových technologií standardů IEEE-802.15.1 a IEEE-802.11. Testování provést odděleně, tak aby se eliminovala možnost vzájemného ovlivňování, či případného rušení. 3) Změřit dobu chodu dohledového zařízení při poměru automatického a manuálního režimu 12:1. Simulovat pro nejhorší možné podmínky. (Nízký stav nabití akumulátoru tzn. nízká účinnost Stepup meniče, aktivace všech čidel, otáčení motoru.)																																																																																																																																						
Popis měření:	1) Měření 1 probíhalo ve venkovním prostředí za slunečného dne. Měření 2 v uzavřené místnosti při běžném osvětlení. Měření 3 ve venkovním prostředí v nočních hodinách. Detekční vzdálenost byla měřena pomocí měřicího pásma kolmo k dohledovému zařízení umístěnému ve výšce 2m. 2) K měření vzdálenosti operátorského panelu od dohledového zařízení bylo použito laserového dálkoměru. Nejprve se měřil dosah wifi komunikačního řetězce, následně BT. 3) Mezi akumulátor a napájecí obvod byl zapojen ampérmetr s periodou vzorkování rovnou 1 minutě. Dohledové zařízení bylo 1 hodinu v automatickém modu s aktivovanými PIR čidly. Poté bylo po dobu 5 minut přepnuto do manuálního režimu s otáčejícím se motorem.																																																																																																																																						
Výsledky měření:	<table style="width: 100%;"> <tr> <th colspan="5" style="text-align: center; border: 1px solid black;">Prostředí 1:</th> <th colspan="5" style="text-align: center; border: 1px solid black;">Prostředí 2:</th> </tr> <tr> <th style="border: 1px solid black;">Měření</th> <th style="border: 1px solid black;">PIR 1</th> <th style="border: 1px solid black;">PIR 2</th> <th style="border: 1px solid black;">PIR 3</th> <th style="border: 1px solid black;">PIR 4</th> <th style="border: 1px solid black;">Měření</th> <th style="border: 1px solid black;">PIR 1</th> <th style="border: 1px solid black;">PIR 2</th> <th style="border: 1px solid black;">PIR 3</th> <th style="border: 1px solid black;">PIR 4</th> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black;">1</td> <td style="border: 1px solid black;">7,5m</td> <td style="border: 1px solid black;">8m</td> <td style="border: 1px solid black;">8m</td> <td style="border: 1px solid black;">7,5m</td> <td style="border: 1px solid black;">1</td> <td style="border: 1px solid black;">8m</td> <td style="border: 1px solid black;">8,5m</td> <td style="border: 1px solid black;">9m</td> <td style="border: 1px solid black;">8m</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black;">2</td> <td style="border: 1px solid black;">8m</td> <td style="border: 1px solid black;">8m</td> <td style="border: 1px solid black;">7m</td> <td style="border: 1px solid black;">7,5m</td> <td style="border: 1px solid black;">2</td> <td style="border: 1px solid black;">8m</td> <td style="border: 1px solid black;">8m</td> <td style="border: 1px solid black;">8,5m</td> <td style="border: 1px solid black;">8,5m</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black;">3</td> <td style="border: 1px solid black;">7,5m</td> <td style="border: 1px solid black;">7,5m</td> <td style="border: 1px solid black;">7,5m</td> <td style="border: 1px solid black;">8m</td> <td style="border: 1px solid black;">3</td> <td style="border: 1px solid black;">9m</td> <td style="border: 1px solid black;">9m</td> <td style="border: 1px solid black;">9m</td> <td style="border: 1px solid black;">8m</td> </tr> </table> <table style="width: 100%;"> <tr> <th colspan="5" style="text-align: center; border: 1px solid black;">Prostředí 3:</th> </tr> <tr> <th style="border: 1px solid black;">Měření</th> <th style="border: 1px solid black;">PIR 1</th> <th style="border: 1px solid black;">PIR 2</th> <th style="border: 1px solid black;">PIR 3</th> <th style="border: 1px solid black;">PIR 4</th> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black;">1</td> <td style="border: 1px solid black;">10m</td> <td style="border: 1px solid black;">10m</td> <td style="border: 1px solid black;">10m</td> <td style="border: 1px solid black;">9m</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black;">2</td> <td style="border: 1px solid black;">10m</td> <td style="border: 1px solid black;">10,5m</td> <td style="border: 1px solid black;">11m</td> <td style="border: 1px solid black;">10,5m</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black;">3</td> <td style="border: 1px solid black;">10,5m</td> <td style="border: 1px solid black;">10m</td> <td style="border: 1px solid black;">10,5m</td> <td style="border: 1px solid black;">10m</td> </tr> </table> <table style="width: 100%; border: 1px solid black; text-align: center;"> <tr> <th colspan="6">Měření komunikačního řetězce Standardu IEEE-802.11</th> </tr> <tr> <td>Vzdálenost [m]</td> <td>50</td> <td>100</td> <td>125</td> <td>155</td> <td>200</td> </tr> <tr> <td>Rozlišení [pixel]</td> <td>1280x1024</td> <td>640x480</td> <td>640x480</td> <td>640x480</td> <td>640x480</td> </tr> <tr> <td>Snímková frekvence[FPS]</td> <td>15</td> <td>30</td> <td>30</td> <td>15</td> <td>5</td> </tr> </table> <table style="width: 100%; border: 1px solid black; text-align: center;"> <tr> <th colspan="6">Měření komunikačního řetězce Standardu IEEE-802.15.1</th> </tr> <tr> <td>Vzdálenost [m]</td> <td>25</td> <td>50</td> <td>75</td> <td>120</td> <td>125</td> </tr> <tr> <td>Počet odeslaných bitů</td> <td>10</td> <td>10</td> <td>10</td> <td>10</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>Počet přijatých bitů</td> <td>10</td> <td>10</td> <td>10</td> <td>10</td> <td>9</td> </tr> </table> <table style="width: 100%; border: 1px solid black;"> <tr> <td style="padding: 2px;">Odebíraný proud v Automatickém režimu:</td> <td style="padding: 2px; text-align: right;">129 mA</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Odebíraný proud v Manuálním režimu:</td> <td style="padding: 2px; text-align: right;">412 mA</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Celková kapacita akumulátorů:</td> <td style="padding: 2px; text-align: right;">10 Ah</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Předpokládaná doba chodu:</td> <td style="padding: 2px; text-align: right;">56,3h</td> </tr> </table>				Prostředí 1:					Prostředí 2:					Měření	PIR 1	PIR 2	PIR 3	PIR 4	Měření	PIR 1	PIR 2	PIR 3	PIR 4	1	7,5m	8m	8m	7,5m	1	8m	8,5m	9m	8m	2	8m	8m	7m	7,5m	2	8m	8m	8,5m	8,5m	3	7,5m	7,5m	7,5m	8m	3	9m	9m	9m	8m	Prostředí 3:					Měření	PIR 1	PIR 2	PIR 3	PIR 4	1	10m	10m	10m	9m	2	10m	10,5m	11m	10,5m	3	10,5m	10m	10,5m	10m	Měření komunikačního řetězce Standardu IEEE-802.11						Vzdálenost [m]	50	100	125	155	200	Rozlišení [pixel]	1280x1024	640x480	640x480	640x480	640x480	Snímková frekvence[FPS]	15	30	30	15	5	Měření komunikačního řetězce Standardu IEEE-802.15.1						Vzdálenost [m]	25	50	75	120	125	Počet odeslaných bitů	10	10	10	10	10	Počet přijatých bitů	10	10	10	10	9	Odebíraný proud v Automatickém režimu:	129 mA	Odebíraný proud v Manuálním režimu:	412 mA	Celková kapacita akumulátorů:	10 Ah	Předpokládaná doba chodu:	56,3h
Prostředí 1:					Prostředí 2:																																																																																																																																		
Měření	PIR 1	PIR 2	PIR 3	PIR 4	Měření	PIR 1	PIR 2	PIR 3	PIR 4																																																																																																																														
1	7,5m	8m	8m	7,5m	1	8m	8,5m	9m	8m																																																																																																																														
2	8m	8m	7m	7,5m	2	8m	8m	8,5m	8,5m																																																																																																																														
3	7,5m	7,5m	7,5m	8m	3	9m	9m	9m	8m																																																																																																																														
Prostředí 3:																																																																																																																																							
Měření	PIR 1	PIR 2	PIR 3	PIR 4																																																																																																																																			
1	10m	10m	10m	9m																																																																																																																																			
2	10m	10,5m	11m	10,5m																																																																																																																																			
3	10,5m	10m	10,5m	10m																																																																																																																																			
Měření komunikačního řetězce Standardu IEEE-802.11																																																																																																																																							
Vzdálenost [m]	50	100	125	155	200																																																																																																																																		
Rozlišení [pixel]	1280x1024	640x480	640x480	640x480	640x480																																																																																																																																		
Snímková frekvence[FPS]	15	30	30	15	5																																																																																																																																		
Měření komunikačního řetězce Standardu IEEE-802.15.1																																																																																																																																							
Vzdálenost [m]	25	50	75	120	125																																																																																																																																		
Počet odeslaných bitů	10	10	10	10	10																																																																																																																																		
Počet přijatých bitů	10	10	10	10	9																																																																																																																																		
Odebíraný proud v Automatickém režimu:	129 mA																																																																																																																																						
Odebíraný proud v Manuálním režimu:	412 mA																																																																																																																																						
Celková kapacita akumulátorů:	10 Ah																																																																																																																																						
Předpokládaná doba chodu:	56,3h																																																																																																																																						
Závěr:	Závěry z jednotlivých měření jsou uvedeny v příslušných kapitolách Diplomové práce Aplikace standardu IEEE-802.15.1 v dohledovém systému																																																																																																																																						

Příloha L: Fotografie dohledového zařízení



Příloha M: Obsah přiloženého CD

- A_TextováZpráva
 - Aplikace_standardu_IEEE_802 15 1_v_dohledovém_systému.doc
 - Aplikace_standardu_IEEE_802 15 1_v_dohledovém_systému.pdf
- B_DPS
 - EAGLE
 - Dohledove_zarizeni.bdr
 - Dohledove_zarizeni.sch
 - Dohledove_zarizeni.pro
 - Gerber
 - Top.gdo
 - Bottom.gdo
 - CreamBottom.gdo
 - CreamTop.gdo
 - SoldermaskBottom.gdo
 - SoldermaskTop.gdo
 - Drills.gdo
 - Outline.gdo
 - Vrtani.drd
 - PDF
 - XA_0102_03.pdf
- C_Kusovník
 - DO_XA0102.doc
- D_Software
 - Software_PC
 - VisualStudio.zip
 - SurveillanceSystem.exe
 - Software_uC
 - DiplomovaPrace_sw_C
 - DiplomovaPrace_sw_uC.pdf
- E_TechnickéVýkresy
 - VY_XA0102.pdf
- F_ZdrojeDatasheety
 - Datasheets.zip
- G_ZáznamyTestyFoto
 - 2015-05-03 Protokol o měření.pdf
 - 2015-05-03 Protokol o měření.xlsx
 - IMG_20150505_SurveillanceSystem.jpeg